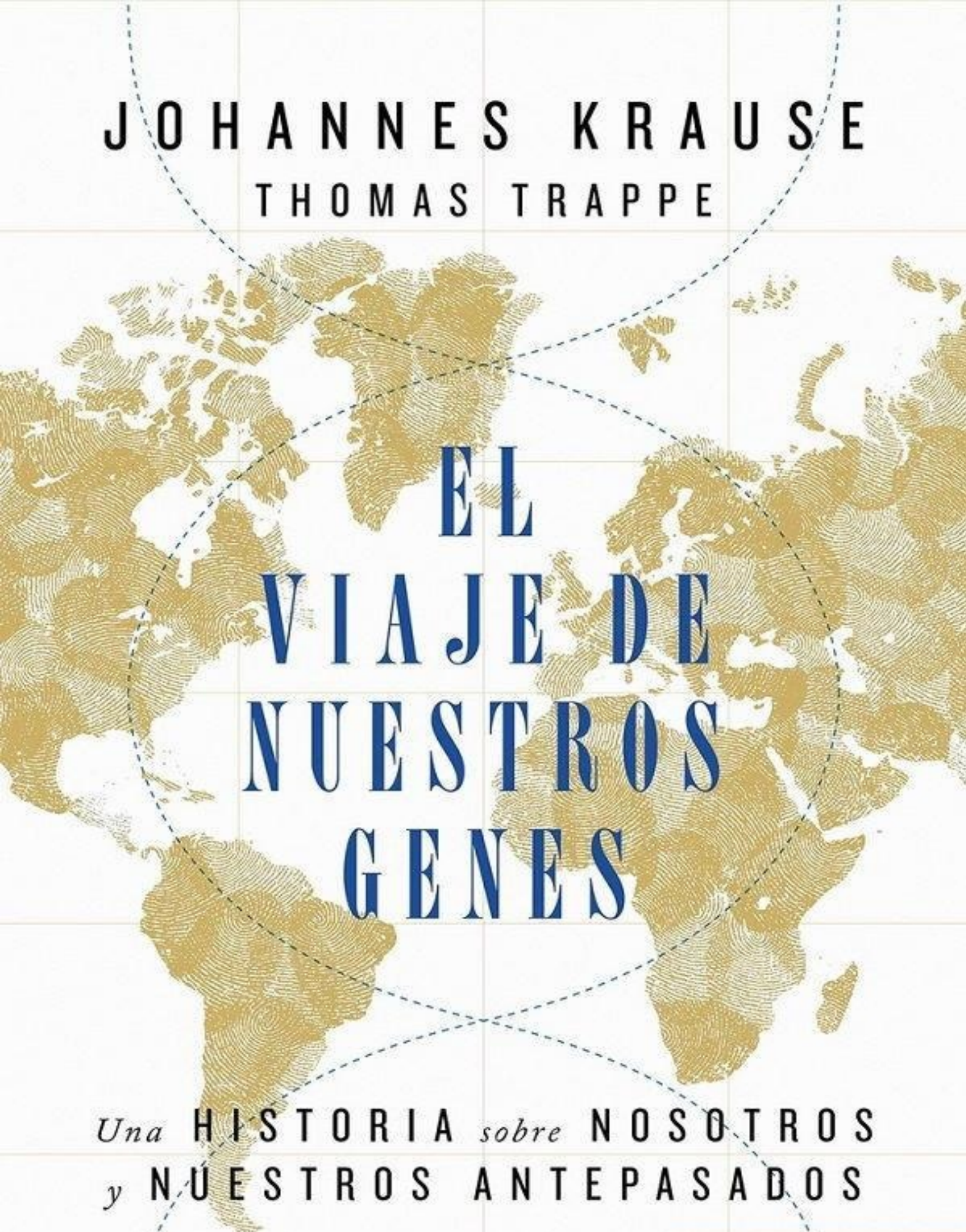
JOHANNES KRAUSE
THOMAS TRAPPE



EL VIAJE DE NUESTROS GENES

Una HISTORIA *sobre* NOSOTROS *y* NUESTROS ANTEPASADOS

Lectulandia

El campo de la arqueogenética está experimentando una tremenda revolución científica. Una nueva generación de máquinas de secuenciación de ADN está permitiendo desentrañar los secretos ocultos de nuestros orígenes, y estos descubrimientos están transformando el mapa de la evolución humana. En *El viaje de nuestros genes*, Johannes Krause, líder indiscutible de esta disciplina, pone a disposición del lector un análisis minucioso de los últimos avances y, con su coautor, el periodista Thomas Trappe, los vincula a los debates políticos actuales en torno a la migración y los reasentamientos masivos, demostrando que están lejos de ser un fenómeno moderno y argumentando que en la sociedad global está la clave hacia el progreso, sobre todo para Europa.

Además de responder a una serie de preguntas universales con datos prácticamente irrefutables y relatar desde el descubrimiento de un nuevo eslabón humano hasta el desarrollo de las lenguas indoeuropeas, pasando por la adaptación evolutiva a la lactosa, este libro nos confronta con la dimensión política de la genética.

Johannes Krause & Thomas Trappe

El viaje de nuestros genes

Una historia sobre nosotros y nuestros antepasados

ePub r1.0
Titivillus 06.05.2021

Título original: *Die Reise unserer Gene: Eine Geschichte über uns und unsere Vorfahren*
Johannes Krause & Thomas Trappe, 2020
Traducción: Jorge Seca

Editor digital: Titivillus
ePub base r2.1

Proyecto Scriptorium

epublibre

8º Aniversario

Más libros, más libres

Edición conmemorativa

Prólogo

Europa no había vivido todavía nada parecido. La oleada de inmigrantes que avanzó hacia el centro del continente atravesando los Balcanes representó una auténtica nueva era en el sentido literal de la expresión. Nada sería ya como antes. Llegaron innumerables familias marcadas por la agricultura y que deseaban una cosa por encima de todo: la posesión de nuevas tierras. Los antiguos europeos arraigados en esas regiones no pudieron evitarlo. Al principio se retiraron; posteriormente, esa antigua cultura europea acabó desapareciendo. Los seres humanos que habitarían Europa a partir de entonces tenían un aspecto diferente de aquellos a quienes habían desplazado. Se trató de un intercambio de población.

Han transcurrido 8000 años desde aquella drástica oleada migratoria y, sin embargo, no ha sido sino muy recientemente cuando hemos logrado conocer datos mucho más exactos sobre ella. Armados con una tecnología revolucionaria, trituramos huesos antiquísimos hasta convertirlos en polvo, y de su ADN destilamos las historias que vamos a narrar en este libro. La joven rama científica de la arqueogenética aprovecha los métodos desarrollados en la medicina para descifrar un genoma que, en parte, tiene cientos de miles de años de antigüedad. Esta especialidad está apenas despegando; no obstante, el conocimiento que hemos adquirido es ya inconmensurable. En los huesos humanos de un pasado lejano no solo reconocemos los perfiles genéticos de los fallecidos, sino también el modo como se expandieron sus genes por Europa, es decir, sabemos cuándo llegaron y de dónde procedían nuestros ancestros. Ahora bien, la llegada de los anatolios hace 8000 años es solo uno de los muchos movimientos migratorios en la historia de nuestro continente. La arqueogenética demuestra que no existen seres humanos con raíces europeas «puras», y que estas probablemente no existieron nunca. Todos nosotros poseemos un trasfondo migratorio, y nuestros genes nos ofrecen su relato.

Cuando en el año 2014 demostramos la migración anatolia de la Edad de Piedra, no intuíamos la actualidad que adquiriría ese hecho poco tiempo después. En el verano de 2015 tuvo lugar de nuevo una migración hacia la

Europa central a través de los Balcanes, a consecuencia de la cual se produjeron graves agitaciones en muchos estados europeos, y sus repercusiones políticas a largo plazo todavía no son, ni de lejos, previsibles. La frase realmente inofensiva de Angela Merkel, «Conseguiremos manejar esta situación», fue capaz de dividir a la sociedad en dos bandos en parte irreconciliables. En la actualidad, esa frase la citan quienes se oponen a la migración, y la pronuncian casi únicamente como caricatura y para expresar justo el sentido contrario. En su opinión, la migración de masas no es algo que pueda manejarse y no es, en absoluto, algo que tenga que aceptarse así sin más. La potencia explosiva de este asunto quedó patente incluso en los debates en torno al Pacto Mundial sobre Migración de la ONU. En Alemania se alzaron voces para no aceptar el acuerdo, y muchos estados retiraron su apoyo al texto porque no limitaba la migración, sino que la fomentaba. Se trata de conflictos políticos en los que la arqueogenética no debe, ni pretende en absoluto, comprometerse a ejercer de árbitra. Ahora bien, lo que sí puede hacer es ayudar a poner en perspectiva las diferentes cuestiones y a entender Europa como lo que sin duda es: una historia de progreso que se extiende a lo largo de varios milenios, una historia que no habría sido posible sin la migración ni la movilidad de los seres humanos.

La idea de escribir este libro nació como una consecuencia de la «crisis de los refugiados» de 2015. La arqueogenética puede contribuir a muchos de los debates sociales que se han generado al respecto desde entonces. Dejar que este conocimiento repose en el polvo de los huesos sería despilfarrar los esfuerzos de los investigadores. En las páginas siguientes expondremos las grandes oleadas migratorias que, desde la prehistoria, marcaron a Europa, y también aquellas que partieron de ella y fundaron el mundo occidental. Entre otros asuntos, nos ocuparemos de la ruta eterna de los Balcanes y de los conflictos que han surgido desde tiempos inmemoriales, asociados a las migraciones. Explicaremos por qué los primeros europeos tenían la piel oscura y por qué los análisis del genoma pueden situar en el mapa a individuos europeos concretos, pero que no pueden delimitar genéticamente los pueblos, y muchísimo menos las nacionalidades. Trazamos un arco desde la Edad de Hielo, en la que comenzó el viaje genético de los europeos, hasta la actualidad, en la que estamos casi a punto de asumir nuestra propia evolución. Cabe señalar que este libro no está pensado únicamente para abordar controversias políticas, sino que también es la primera obra en lengua alemana en la que se resumen los conocimientos de la arqueogenética sobre la historia de Europa.

Estos conocimientos nuevos no sirven para esos debates de o todo blanco, o todo negro. Con absoluta certeza, los inmigrantes dejaron su impronta en Europa, y sin ninguna duda los desplazamientos poblacionales que acarrearon trajeron consigo mucho sufrimiento a los cazadores y recolectores, que fueron desplazados por los agricultores anatolios. La historia de la migración es también la historia de las enfermedades mortales, la de la peste, por ejemplo, que se remonta hasta la Edad de Piedra. Es muy probable que trazara un reguero de muertes a través de Europa, allanando el camino a aquellos humanos cuyos descendientes prepararían posteriormente la Edad del Bronce. Somos conscientes de que este libro aporta argumentos tanto para quienes son receptivos a la migración como también para quienes quieren ponerle unas fronteras estrictas. Ahora bien, es de esperar que tras su lectura nadie niegue que la movilidad forma parte de la naturaleza humana. Como es evidente, lo que más les gustaría a los autores sería que los lectores se acercaran a su punto de vista de que la sociedad global que ha sido ensayada desde hace milenios también será en el futuro la clave del progreso, incluso, y sobre todo, para Europa.

En este libro hemos trabajado dos autores. Johannes Krause, que a partir del siguiente capítulo asumirá el papel de narrador en primera persona, es (y esto lo escribe el segundo autor con modestia) uno de los expertos más sólidos en el campo de la arqueogenética en todo el mundo y es director del Instituto Max Planck para la Ciencia de la Historia de la Humanidad, ubicado en Jena. Al coautor, Thomas Trappe, no solo se le encomendó la tarea de condensar en una narración breve todo el conocimiento de Krause, sino también proporcionarle un marco contemporáneo e incorporarlo a los debates políticos actuales. En estos últimos años, Trappe ha colaborado repetidamente con Krause en labores periodísticas, además de ocuparse del tema del nacionalismo y de su ideología más reciente. En muchas de las conversaciones entre ambos autores surgió la voluntad de reunir en un libro conjunto la ciencia y los debates de actualidad.

Comencemos con una rápida galopada por los fundamentos de la arqueogenética. Y con una falange que influyó de un modo decisivo en la carrera científica de Krause. De una manera del todo sorprendente, ese hueso nos presentó una nueva forma humana, e indirectamente atestiguó la afinidad de los primeros europeos con los neandertales.

1

Un trabajo muy huesudo

Un dedo siberiano nos conduce al nuevo ser humano primitivo. Genetistas con la actitud de los buscadores de oro; poseen máquinas extraordinarias. Adán y Eva vivían separados. El neandertal fue un error.
Parque Jurásico nos vuelve locos a todos. Sí, todos nosotros estamos emparentados con Carlomagno.

600.000
500.000
400.000
300.000
200.000
100.000
Inmigración a Europa del último antepasado común de neandertal y denisovano
Sima de los Huesos (neandertal primitivo)
Primera inmigración de los primitivos seres humanos modernos a Europa procedentes de África (sin asentamiento permanente)
La niña de Denisova
El ser humano moderno desplaza/se mezcla con neandertales en Europa
Último antepasado común de ser humano, neandertal y denisovano en África
El Adán cromosómico-Y en África
La Eva mitocondrial en África
El neandertal del valle de Neander
Comienzo de la emigración de seres humanos modernos desde África hasta el resto del mundo
Valle de Neander
Océano Atlántico
Alpes
Pirineos
Sima de los Huesos
Mar Mediterráneo
Antepasados del ser humano moderno
0
300 km

Un trabajo muy huesudo
Cueva de Denisova
Denisovanos
Mar Caspio
Cáucaso
Cárpatos
Mar Negro
Montes Zagros
Hace aprox. 500.000 años
Montes Tauro
de hace aprox.
270.000 años
Mar Mediterráneo
Primitivos seres humanos
modernos
de hace aprox.
600.000 años
Antepasados de neandertal
y denisovano

UN HUESO EN EL ESCRITORIO

La yema del dedo que me encontré una mañana del invierno del año 2009 al llegar a mi mesa de trabajo no era más que el resto de un dedo en un estado lamentable. Faltaba la uña, y no digamos ya la piel; se trataba en realidad de la punta de la primera falange de un dedo y no era más grande que un hueso de cereza. Tal como descubriría un tiempo después, pertenecía a una niña de entre cinco y siete años. La yema se hallaba en el interior de un sobre acolchado estándar y venía desde muy lejos, desde Novosibirsk. No todo el mundo se alegra cuando, antes del café de la mañana, se encuentra encima del escritorio con partes del cuerpo seccionadas procedentes de Rusia. Sin embargo, yo sí.

Casi una década antes, en el año 2000, el presidente estadounidense Bill Clinton había ofrecido una rueda de prensa en la Casa Blanca, en la que anunció que tras diez años de trabajo y una inversión de miles de millones de dólares en el Proyecto Genoma Humano se había logrado el desciframiento de este último. De pronto, el ADN se convirtió en un tema de debate omnipresente, el periódico *FAZ* sustituyó su suplemento cultural con la publicación de secuencias del genoma humano, una serie infinita de las bases A, T, C y G, de las que consta el ADN. En ese momento, muchos fueron conscientes de repente de la importancia que iba a adquirir la genética en el futuro. Al fin y al cabo existía la esperanza de leer en el ADN del ser humano como en los planos de una construcción.

En el año 2009, la ciencia se vio mucho más cerca de ese objetivo. En ese tiempo yo trabajaba como investigador posdoctoral en el Instituto Max Planck de Antropología Evolutiva de Leipzig, conocido también por su simbólica abreviatura MPI-EVA. Este instituto ya era por aquella época la primera referencia en todo el mundo para científicos que con ayuda de una técnica de elevada eficiencia pretendían secuenciar el ADN a partir de huesos antiguos. Le precedían décadas de esfuerzos en la investigación genética que hicieron posible que con ayuda de la primera falange del dedo que estaba en mi mesa de trabajo se reescribiera un poco la historia de los orígenes de la humanidad. Y es que en el hallazgo de Siberia nos tropezamos con unos restos mortales de una antigüedad aproximada de 70 000 años, pertenecientes a una niña de una forma humana primitiva hasta entonces desconocida. Esto lo revelaron unos cuantos miligramos de polvo de huesos y una muy compleja máquina de secuenciación. Tan solo algunos años antes habría sido técnicamente

impensable descifrar a quién pertenecía la yema diminuta de un dedo. Y las astillas de hueso no solo nos mostraron eso, sino que también nos enteramos tanto de lo que unía a aquella niña con las personas que vivimos en la actualidad como de lo que nos diferenciaba de ella.

UN BILLÓN AL DÍA

El ADN entendido como los planos de construcción de la vida se conoce desde hace más de cien años. En 1953, James Watson y Francis Crick, tras los trabajos preparatorios de Rosalind Franklin, descubrieron su estructura, razón por la cual ambos recibirían nueve años más tarde el Premio Nobel de Medicina (en esa fecha Franklin había fallecido ya a la temprana edad de treinta y siete años). La medicina fue también la disciplina que desde entonces impulsó la investigación del ADN y la que abrió el Proyecto Genoma Humano.

Un hito en el desciframiento del ADN, es decir, en la capacidad de leerlo, fue el desarrollo en los años ochenta de la reacción en cadena de la polimerasa[1]. Este procedimiento es uno de los fundamentos de las máquinas actuales de secuenciación que realizan la lectura completa de la sucesión de las bases dentro de una molécula de ADN. Las máquinas secuenciadoras se han desarrollado a una gran velocidad desde principios de este milenio. Cualquiera que recuerde su viejo Commodore 64 y que en la actualidad utilice un teléfono inteligente puede imaginar también la velocidad en los avances técnicos en el campo de la genética.

Algunas cifras nos permitirán adivinar en qué dimensiones nos movemos en lo referente al desciframiento del ADN. El genoma humano se compone de 3300 millones de bases[2]. En el año 2003, cuando se finalizó el Proyecto Genoma Humano, habían sido precisos más de diez años para descifrar la información genética de un ser humano[3]. En la actualidad logramos en nuestro laboratorio un billón de pares de bases por día. El rendimiento de estas máquinas se ha multiplicado varios cientos de millones de veces en los últimos doce años, de modo que hoy puede descodificarse la fabulosa cifra de trescientos genomas humanos en un día y en una sola máquina secuenciadora. Con toda seguridad, dentro de diez años será posible descifrar en todo el mundo los genomas de millones de seres humanos, a pesar de que hasta el momento se siguen subestimando casi siempre los desarrollos en el futuro. Las secuencias de ADN se evalúan cada vez con mayor velocidad y a un menor coste, por lo que se están volviendo un producto al alcance de

cualquiera. Entretanto, la investigación de un genoma cuesta menos que un hemograma completo, y podemos imaginar muy bien que pronto la posibilidad de descifrar el genoma de su recién nacido se convertirá en una rutina para los papás y las mamás jóvenes. La secuenciación del ADN ofrece unas posibilidades insospechadas, por ejemplo, en la detección temprana de predisposiciones genéticas para determinadas enfermedades, y ese potencial se irá incrementando[4].

Mientras que la medicina descifra el genoma de las personas que viven en la actualidad para entender mejor las enfermedades y crear sobre ese fundamento nuevas terapias y medicamentos, los arqueogenetistas aprovechan las técnicas desarrolladas en la genética para analizar hallazgos arqueológicos —huesos antiguos, dientes o incluso muestras de tierra— y extraer conclusiones del ADN encontrado en esos hallazgos sobre el origen de seres humanos fallecidos hace muchísimo tiempo. Para la arqueología se inauguran vías de trabajo completamente nuevas.

A diferencia del pasado, la arqueología ya no depende de teorías e interpretaciones, sino que es capaz de demostrar, por ejemplo, los movimientos migratorios de seres humanos sobre la base de análisis genéticos con una precisión sin precedentes. Para la arqueología, el desciframiento de ADN antiguo tiene una importancia comparable a la de otra revolución técnica que se remonta a los años cincuenta. En aquel entonces, determinar la edad de los hallazgos arqueológicos pasó a basarse en unos fundamentos completamente nuevos gracias al método del radiocarbono. De esta manera pudieron datarse por primera vez los restos mortales humanos con fiabilidad, pese a, todo sea dicho, no poder precisar con exactitud el año[5]. La arqueogenética posibilita incluso leer fragmentos de esqueletos y reconocer en ellos unas relaciones de las cuales no sabían nada aquellos a quienes pertenecieron en su día los huesos. Los restos mortales humanos, algunos de los cuales reposaban en la tierra desde hace varias decenas de miles de años, se convierten de este modo en mensajeros del pasado. En ellos están escritas las historias de nuestros antepasados que van a contarse en este libro, algunas por primera vez.

PROGRESO A TRAVÉS DE LAS MUTACIONES

La joven ciencia de la arqueogenética puede ayudarnos a encontrar nuevas respuestas a algunas de las cuestiones más antiguas y fundamentales de la

historia de la humanidad: ¿qué nos hace humanos? ¿De dónde venimos? Y ¿cómo nos convertimos en las personas que somos en la actualidad?

Uno de los pioneros más importantes en esta especialidad es Svante Pääbo, desde 1999 director del Instituto Max Planck de Antropología Evolutiva de Leipzig. Médico de profesión, en 1984, Pääbo, durante la redacción de su tesis doctoral en la universidad sueca de Uppsala, extrajo del laboratorio, de una manera más o menos clandestina y con nocturnidad, ADN de una momia egipcia. Fue el comienzo de una gran carrera. En el año 2003, Pääbo me admitió en Leipzig en su equipo como estudiante de posgrado. Cuando dos años más tarde yo trataba de encontrar un tema para mi tesis doctoral, él me propuso descifrar el genoma del neandertal con su equipo. En realidad era una locura: dado el estado de la técnica de aquellos tiempos, una empresa de ese calibre habría necesitado décadas, y también habríamos tenido que moler varias docenas de kilogramos de los valiosos huesos de neandertales. No obstante, confiaba en Pääbo y en su capacidad de valorar el proyecto de una manera realista. Acepté el encargo. La decisión resultó ser la correcta. Gracias al desarrollo espectacularmente rápido de la técnica de secuenciación, concluimos nuestro trabajo tres años después, y además necesitamos muchísimos menos huesos de lo esperado.

Era por esa época cuando me llegó el fragmento de dedo procedente de la República de Altái. Huesos como esos son los soportes de datos de la arqueogenética, a partir de los cuales podemos extraer muchas conclusiones. El ser humano primitivo a quien pertenecían esos huesos, ¿se contaba entre nuestros antecesores directos o se extinguió su línea en algún momento? ¿En qué se diferencia su herencia genética de la nuestra? Los genomas de los seres humanos prehistóricos se convierten así en el patrón sobre el cual colocamos nuestro ADN actual. Como científicos nos interesan aquellos lugares en los que el patrón no encaja. Y es que esas son las posiciones en las que nuestro ADN ha cambiado, donde se ha producido una «mutación». Es posible que esta palabra tenga un sonido desagradable para muchos oídos; sin embargo, las mutaciones son ciertamente el motor de la evolución y el motivo por el cual en la actualidad los seres humanos y los chimpancés nos contemplamos con asombro unos a otros separados por una valla en el parque zoológico. Para la arqueogenética, las mutaciones son los hitos de la historia de la humanidad.

En el tiempo que precisará usted para leer este capítulo, el ADN de millones de sus células se habrá transformado, ya que se descompone constantemente y necesita ser renovado en la piel, en los intestinos, en todas

partes. Cuando algo sale mal en la operación de renovación, hablamos entonces de mutaciones. Ocurren con mucha frecuencia, lo cual no es sorprendente si tenemos en cuenta la intensa frecuencia de las renovaciones celulares. Por regla general, el cuerpo repara de inmediato las mutaciones, pero esto no es siempre así. Cuando se producen en las células germinales del ser humano, es decir, en espermatozoides y óvulos, estas pueden transmitirse a la siguiente generación como factor hereditario. En este proceso interviene la propia función protectora del cuerpo: muere la mayoría de las células germinales con mutaciones que causan enfermedades graves. Sin embargo, en mutaciones menores esto no tiene por qué suceder forzosamente así. Es entonces cuando, dependiendo de las circunstancias, puede heredarse una modificación genética[6].

Las modificaciones genéticas que conducen a una mayor descendencia se propagan con mayor rapidez en las poblaciones porque se transmiten con una mayor frecuencia. El hecho de que el ser humano posea, por ejemplo, menos pelo que su primo lejano, el mono antropoide, es probablemente el resultado de varias mutaciones; en lugar de pelos se desarrollaron glándulas sudoríparas. Con este nuevo sistema de refrigeración, el ser humano prehistórico de pelo escaso aumentó su resistencia al correr, podía cazar y huir mejor y, por consiguiente, vivía más tiempo y tenía mayores oportunidades de reproducirse. En cambio, los seres humanos primitivos con aquellos factores hereditarios que procuraban más pelo, quedaron en desventaja y se extinguieron. Ahora bien, la mayoría de las mutaciones no tienen una finalidad concreta y no conducen a ninguna parte. O bien no tienen ningún efecto en el organismo, o bien lo dañan y son seleccionadas negativamente, es decir, son desechadas. En cambio, las raras excepciones en las que estas modificaciones resultan útiles para la supervivencia y la reproducción se seleccionan de forma positiva. Tales mutaciones se extienden e impulsan permanentemente el desarrollo. Así pues, la evolución es una interacción de azares bajo las condiciones de prueba permanentes.

EL SER HUMANO PRIMITIVO NOS ENVÍA SUS SALUDOS

Para los arqueogenetistas, investigar el material genético de huesos antiguos se asemeja a un viaje en una máquina del tiempo. Basándose en el ADN de nuestros antepasados que vivieron hace varias decenas de miles de años, podemos reconocer qué mutaciones se han impuesto desde entonces en las personas y qué cualidades se han perdido. Cuando analizamos la falange

primera del dedo procedente de Rusia teníamos la esperanza puesta en dar respuesta a estas preguntas.

Anatoli Derevjanko, uno de los arqueólogos de mayor renombre en Rusia, dio con este hueso de 70 000 años de antigüedad en la cueva de Denisova, es decir, a apenas 700 metros de altitud en el macizo de Altái. Esta cordillera está situada a más de 3500 kilómetros al este de Moscú, en la frontera rusa con China, Kazajistán y Mongolia, y se encuentra, por consiguiente, en mitad de Asia. La cueva de Denisova no es solo un destino popular para viajes y excursiones, sino que desde hace años es también una mina para los científicos, que hallan ahí regularmente huesos y todo tipo de objetos elaborados por los seres humanos de la Edad de Piedra. Resulta un hecho ventajoso que el macizo de Altái sea tan siberiano como pueda imaginarse uno, y es que el frío conserva particularmente bien los hallazgos. Desde que Svante Pääbo, algunos colegas y yo llegamos a esta región a comienzos del año 2010 para entrevistarnos con Derevjanko, sé que pueden formarse cristales de hielo sobre la piel a 42 grados bajo cero.

En el laboratorio de Leipzig, aquella primera falange procedente del macizo de Altái se sometió a un procedimiento que se realiza repetidas veces. Se perfora un agujerito en el hueso, el polvo de hueso obtenido se coloca en un líquido especial en el que finalmente se liberan las moléculas de ADN. En este caso no disponíamos de muchos intentos porque solo pudimos extraer diez miligramos de polvo de hueso, lo cual corresponde a una miga de pan.

Partíamos de la base de que nos las estábamos viendo con un hueso corriente de un ser humano moderno, tal vez incluso con el de un neandertal. Sin embargo, la máquina de secuenciación comenzó a arrojar resultados con los que en un principio no supe qué hacer. Aquel ADN no encajaba con ninguna de nuestras dos hipótesis. Convoqué con urgencia a nuestro equipo de trabajo para presentar mis enigmáticos resultados. «¿Qué error he cometido?», pregunté. Juntos revisamos los datos una y otra vez. Al final lo que quedó claro es que no me había equivocado. Cuando llamé más tarde a mi jefe, le rogué que tomara asiento durante unos instantes. «Svante, creo que hemos encontrado al *Homo erectus*». El *Homo erectus* es el antepasado común del ser humano moderno y del neandertal; de él no existía hasta aquel momento ningún ADN secuenciado. Así pues, pensé por aquel entonces que íbamos a ser los primeros en conseguirlo.

MITAD CHATARRA, MITAD PLANO DE CONSTRUCCIÓN

Cuando hablamos de genes humanos refiriéndonos al genoma, esto en realidad no es científicamente correcto, ya que solo una parte muy escasa de los tres mil trescientos millones de pares de bases de nuestro genoma son genes. Este 2 por ciento es el responsable de codificar las proteínas, es decir, son los planos de construcción de alrededor de treinta billones de células, los bloques de construcción de nuestro cuerpo[7]. El ser humano solo posee, aproximadamente, un total de 19 000 genes, y esa es una cifra sorprendentemente baja. Una ameba, es decir, un diminuto organismo unicelular, tiene 30 000 genes; un pino corriente, más de 50 000. Sin embargo, el número de genes por sí solo no es decisivo en la mayor o menor complejidad de un ser vivo. Y es que en los organismos con núcleos celulares, las informaciones a partir de un gen pueden combinarse para formar diferentes bloques de construcción: el gen no es necesariamente responsable de una sola función en el cuerpo. Por el contrario, en los organismos más primitivos, en las bacterias, por ejemplo, la mayoría de las veces solo se forma un bloque de construcción a partir de un gen que, por regla general, solo asume una tarea. Podríamos decir a su vez que los genes humanos, pero también los de la mayoría de los animales, son un equipo reducido, pero con un juego de equipo excepcional.

El 50 por ciento del genoma humano —igual que en un disco duro demasiado grande— está ocupado por chatarra, es decir, por secuencias de ADN que para nosotros no poseen ninguna finalidad visible. Además de los genes, los interruptores moleculares desempeñan un papel importante; representan alrededor del 10 por ciento de la estructura de extrema complejidad, del genoma. Estos interruptores se activan y desactivan mediante «factores de transcripción», y aseguran que cada parte del cuerpo produzca las proteínas correctas y, por ejemplo, que las células de la yema del dedo no sean tenidas por células estomacales y produzcan ácidos. Y esto se debe a que, en principio, todas las células de un ser humano contienen las mismas informaciones a partir de las cuales tienen que elegirse primero las que son relevantes.

Para la arqueogenética resulta valioso este fenómeno de los componentes inútiles del genoma, pues solo gracias a ellos puede funcionar el denominado «reloj genético». Los científicos miden las mutaciones en el genoma completo y deducen a partir de ellas, por ejemplo, cuándo se escindieron dos poblaciones. Cuanto más atrás en el tiempo quede ese momento, mayor será la acumulación de diferencias en el ADN. Si todo el genoma estuviera compuesto por genes, el número de diferencias, es decir, de mutaciones, no dependería de la duración de la escisión, sino del grado en que se diferencian los entornos ambientales de ambas poblaciones. Los africanos, por ejemplo, tienen en algunos genes menos mutaciones que los descendientes de los humanos que emigraron de África. Esto se debe a que los genes de los emigrantes tuvieron que adaptarse a nuevas condiciones externas, mientras que los de los africanos no lo hicieron, o al menos no con tanta intensidad. No obstante, en los genomas de los africanos actuales, más allá del 2 por ciento de los genes, se encuentran casi tantas mutaciones como en todos los demás humanos del planeta. El motivo: al igual que en los genes, en un gran «porcentaje de la chatarra» del genoma se producen mutaciones, pero apenas se da una selección positiva o negativa. Desde nuestros últimos antepasados comunes, las mutaciones se han acumulado en cada uno de nosotros en igual medida. Así pues, el reloj genético funciona siempre, sin importar el grado de desarrollo separado de los genes propiamente dichos en dos poblaciones que haya que comparar entre sí.

¿Qué habíamos visto en el ADN de la primera falange del dedo? Que se diferenciaba del genoma de los humanos modernos en el doble de posiciones

que las del ADN del neandertal. Esto tenía que significar por fuerza que el ser humano de la cueva de Denisova y el neandertal ya hacía mucho que habían tomado caminos evolutivos separados, mucho más tiempo que la escisión entre el neandertal y el ser humano moderno. Nuestros cálculos de entonces sugerían que hace aproximadamente un millón de años se desarrollaron dos líneas separadas a partir del *Homo erectus* en África. De una de ellas surgieron el neandertal y el ser humano moderno; la otra continuó desarrollándose en Asia hasta convertirse en el humano de Denisova. Y esto echaba por tierra muchas de las teorías que se habían considerado hasta entonces como irrefutables en el campo de la investigación evolutiva, entre otras la certeza de que hace 70 000 años no vivía en el planeta ninguna forma humana más que el primitivo ser humano moderno y el neandertal.

Sin embargo, los datos nos engañaron, algo que nosotros no sabíamos todavía en aquellos momentos. Y así fue como contamos esta historia en nuestra primera publicación sobre Denisova, que apareció en marzo de 2010 en *Nature*, el santo grial de las revistas especializadas. Todo el mundo se me echó inmediatamente encima; todavía me acuerdo de tener al mismo tiempo en nuestro laboratorio a varios equipos con cámaras. Durante una semana estuve ofreciendo numerosas entrevistas telefónicas sobre el descubrimiento del «denisovano», nombre con el que habíamos bautizado a nuestro ser humano prehistórico. Ahora bien, ya al cabo de unas pocas semanas albergamos las primeras sospechas acerca de si los datos que acabábamos de publicar eran del todo correctos o, mejor dicho, si los habíamos interpretado correctamente.

LA MADRE DE TODOS LOS GENES

En la actualidad sabemos que las dudas acerca de nuestra interpretación del ADN denisovano estaban justificadas. La vía por la que pudimos aclarar después su auténtica historia (no menos sorprendente) es un paradigma de la velocidad con la que se desarrolló la arqueogenética en esos años, y también de cómo en ese proceso volvieron a derrumbarse algunas de las certezas que habían perdurado durante décadas en la arqueología. Y es que resultó que, gracias al hecho de haber malinterpretado los datos procedentes del macizo de Altái, pudimos destapar una conclusión errónea aún mayor en la investigación de los humanos prehistóricos. El ADN del ser humano asiático de Denisova nos proporcionó —de una manera indirecta pero inequívoca— una visión completamente nueva sobre la colonización de Europa por parte del ser

humano moderno. Y nos enteramos de que en ese lugar, hacía cientos de miles de años, se topó con el neandertal. Y de que mantuvo relaciones sexuales con él.

Para la primera publicación, reconstruimos el árbol genealógico de la niña de Denisova mediante el ADN de las mitocondrias, a las que también se designa como las «centrales energéticas» de las células. El ADN mitocondrial, ADNmt para abreviar, es tan solo una diminuta fracción de nuestro genoma. Mientras que en la actualidad la secuenciación del ADN nuclear, mucho más amplio y relevante, es un estándar, antes del año 2010 se recurría la mayoría de las veces al ADNmt para ahorra una cantidad muy considerable de tiempo y de costes[8]. Es cierto que el ADNmt no suministra datos muy detallados, pero resulta muy idóneo para la elaboración de árboles genealógicos. En primer lugar, todos los seres humanos heredamos el ADNmt exclusivamente de nuestras madres; en segundo lugar, con un promedio muy regular de 3000 años se añade una mutación en el ADNmt que se transmite a la generación siguiente; así pues, durante 3000 años se hereda un ADNmt idéntico por la línea femenina. Si comparamos el de dos individuos, podemos calcular cuándo vivió su último antepasado común, a lo cual denominamos «reloj genético». El ADNmt de los seres humanos actuales se remonta a una única antepasada, a una «madre primigenia». Vivió, aproximadamente, hace 160 000 años y en genética se la denomina la «Eva mitocondrial». También existe su equivalente masculino, el «Adán primigenio», a quien se remontan los cromosomas Y transmitidos de padre a hijo. No obstante, Adán vivió casi 200 000 años antes que la Eva primigenia, así que con seguridad podemos decir que no formaron pareja[9].

El hecho de que en la primera publicación sobre Denisova no esperáramos a la secuenciación del ADN nuclear tiene una explicación sencilla. Además de a nosotros, Anatoli Derevjanko había hecho llegar a otro laboratorio un pedazo de falange, y temíamos que nuestros colegas pudieran adelantársenos. En general, precipitarse en este tipo de cuestiones no representa ningún problema porque el reloj genético puede leerse tanto a partir del ADNmt como también desde el ADN nuclear[10]. Así pues, el ADN nuclear ahonda considerablemente en la información aportada por el ADNmt y no suele entrar en contradicción con él. Sin embargo, esto es justo lo que ocurrió con la niña de Denisova, pues el ADN nuclear mostraba un árbol genealógico completamente distinto. Según esos datos, los denisovanos no se escindieron del antepasado común de los seres humanos modernos y de los neandertales, esto es, del *Homo erectus*, sino mucho más tarde, de la línea del neandertal.

Estos descubrimientos indican, por tanto, que primero se escindió una línea de los antepasados del ser humano moderno para posteriormente escindirse a su vez en neandertales y denisovanos. Los antepasados del ser humano moderno emigraron a Europa; la otra forma, hacia Asia. Esto estaba ya mucho más cerca de lo que sabemos hoy en día. Todavía faltaba una corrección relevante, pero para llegar hasta ella tendríamos que esperar aún seis años más.

Esta contradicción entre el ADN mitocondrial y el ADN nuclear se resolvió gracias al hallazgo de seres humanos primitivos en la Sima de los Huesos, en el norte de España. La investigación genética la realizó en 2016 el grupo de trabajo de Svante Pääbo. Los huesos tenían una antigüedad de 420 000 años y a la vista de su ADN nuclear podían clasificarse como pertenecientes a un neandertal. Lo mejor de todo era que hasta ese momento se había partido siempre de la base de que por aquella época no existían neandertales en Europa. Esto se debía a que en todos los huesos de neandertales investigados hasta entonces se había calculado, sobre la base del ADN mitocondrial, que esta forma humana se había escindido de nuestros antepasados en África hacía como máximo 400 000 años. El hallazgo español testimoniaba ahora una inmigración mucho más temprana[11] y, por consiguiente, demostraba también que algo no encajaba en los cálculos antiguos. Además, en la publicación se describía que el ADNmt del neandertal español no coincidía con el que se conocía de otros neandertales mucho más tardíos; se asemejaba, en cambio, al de la niña de Denisova. Y esta fue la pista decisiva.

De pronto quedaba aclarada que la conclusión errónea en la primera publicación acerca de los denisovanos se había producido por tomar como referencia el ADNmt de neandertales tardíos, que era evidente que ya no se correspondía con el del neandertal primigenio. En algún momento después de la vida del neandertal español, los individuos más recientes habían adoptado al parecer otro ADNmt en su genoma, y ciertamente lo tomaron de un temprano ser humano moderno, mejor dicho, de una temprana mujer moderna. Un neandertal se había apareado con esa mujer en Europa o en el Oriente Próximo colindante, de ahí que el ADNmt señalara un parentesco más estrecho de neandertales tardíos y seres humanos modernos.

Por el contrario, los denisovanos en Asia siguieron emparejándose entre sí —al menos no presentan huellas genéticas de una mezcla para la época de la niña de Denisova— y conservaron en los ADN mitocondrial y nuclear el parentesco relativamente estrecho con el neandertal primigenio. Con este nuevo conocimiento encajaban a la perfección los datos de los ADN

mitocondrial y nuclear. Solo había que adaptar un poco más la línea de tiempo conocida hasta entonces para las escisiones en el árbol genealógico humano. Los neandertales y los denisovanos debieron de separarse ya hace medio millón de años y no hace 300 000 años, tal como se asumía inicialmente. La escisión de la línea común de neandertales y denisovanos respecto del ser humano moderno debió de producirse, aproximadamente, hace 600 000 años, en lugar de hace 450 000 años.

El descubrimiento de que el denisovano había llevado en su interior el ADN mitocondrial del neandertal primigenio y de que los neandertales tardíos se habían acercado al ser humano moderno no solo me conmovió como científico, sino también en lo personal. Uno de los motivos por los cuales me entusiasma el estudio de los seres humanos primitivos tiene que ver con la historia de Leinefelde, mi ciudad natal, en la región turingia de Eichsfeld. Y es que en ella, a solo unas pocas calles de la casa de mi familia, nació Johann Carl Fuhlrott, el descubridor del neandertal. En mi adolescencia, Fuhlrott era para mí un ídolo. Ahora bien, por aquel entonces no se me habría ocurrido ni en sueños que un día podría completar un poco su obra.

SE ACABARON LOS AÑOS MOVIDOS

El descubrimiento del denisovano y el redescubrimiento del neandertal muestran la velocidad a la que se ha desarrollado la arqueogenética en época muy reciente. Y seguramente se mantendrá este buen ritmo. Esta ciencia, a pesar de estar empezando ahora a ganar impulso, ha superado ya su etapa infantil. O, mejor dicho, ha dejado atrás la pubertad, pues en la historia de esta rama joven de la investigación existe una fase adolescente, movida, en la cual se publicaron estudios escandalosos motivados por un entusiasmo, en ocasiones irracional, por el progreso. Esos estudios fueron también la razón por la cual hasta hace muy pocos años muchos genetistas albergaban serias dudas acerca de si algún día sería posible descifrar ADN antiguo de una manera fiable. La euforia exultante que hizo aparecer en escena a los escépticos tenía que ver también un poco con uno de los mayores éxitos cinematográficos de Steven Spielberg.

Son poquísimos los huesos que resultan apropiados para una secuenciación, pues para ello el ADN debe estar bien conservado. La radiación, el calor y la humedad son sus peores enemigos, y el mayor de todos ellos es el tiempo. Cuanta más edad tenga un hueso, menor será la probabilidad de encontrar en él un ADN aprovechable. Detectarse, siempre se

detecta ADN. Este procede de las bacterias que colonizan los huesos, o de los arqueólogos que lo excavaron y de todo aquel que en algún momento estuvo en su proximidad, como, por ejemplo, en un museo. El ADN se reparte de una manera tan efectiva como la arena en una casa de vacaciones junto al mar, es decir, incesantemente y hasta en el último rincón. Así, por ejemplo, el ADN que Svante Pääbo extrajo de su momia en los años ochenta no procedía de Egipto —y esto es hoy casi seguro—, sino de Suecia, es decir, de él mismo.

No obstante, en la década de 1990 se desencadenó una verdadera oleada de secuenciaciones de ADN. Gracias a que grandes sectores de la opinión pública creían a pies juntillas que se podía dar vida a dinosaurios a partir de mosquitos antiguos atrapados en ámbar después de ver la película *Parque Jurásico* de Spielberg, aumentó mucho la popularidad del ADN y se convirtió en un tema de investigación muy prometedor. Mucho de lo que llegó a secuenciarse por aquel entonces como ADN antiguo no valía siquiera el papel en el que se imprimieron los respectivos estudios. En la mayoría de los casos se trataba de fósiles contaminados, e incluso en las muestras tratadas con el mayor cuidado no podía descartarse que estuvieran contaminadas con el ADN de bacterias y de investigadores. Es cierto que ya desde finales de la década de 1980 existen criterios científicos para atestiguar la autenticidad de ADN antiguo, pero muchos investigadores no los respetaron.

La revolución técnica con las máquinas secuenciadoras a partir del año 2005 hizo mucho más fácil excluir la contaminación a causa del caudal de datos considerablemente más elevado. Logramos otro avance en el año 2009, en un estudio del Instituto Max Planck de Antropología Evolutiva, del que yo fui responsable. Por primera vez descodificamos el ADNmt completo de un ser humano de la Edad de Hielo, procedente de una región occidental de Rusia. La parte más importante del trabajo desde el punto de vista actual fue la metódica. Desarrollamos un procedimiento que analiza los deterioros en el ADN humano, un método que en la actualidad es estándar en la arqueogenética. En él se examinan los patrones específicos de deterioros que se generan de forma fiable debido a que el ADN se descompone de forma uniforme con el transcurso del tiempo; cuanto más avanzada se encuentra esa descomposición, tanto más antiguo es el ADN. De ello puede deducirse una especie de «ley de pureza» para el ADN antiguo igual que para la cerveza. Si en él se encuentran patrones de deterioros que permiten concluir que se trata de ADN joven, la muestra está contaminada y no debería seguir observándose más. En el caso del humano ruso de la Edad de Hielo, pudimos demostrar por primera vez con fiabilidad que su ADN no estaba contaminado.

EL EMBUSTE DEL «PUEBLO PRIMIGENIO»

El perjuicio ocasionado por las publicaciones pseudocientíficas de los años pasados nos sigue afectando en la actualidad. Para los arqueogenetistas resulta espeluznante ver cuántos malentendidos circulan acerca de la transmisión genética y con cuánta desfachatez se comercializan. Hay empresas que hacen creer a clientes interesados por su genealogía que podrían clasificar a sus antepasados en determinados pueblos primigenios. Una de esas empresas vendedoras pretende haber descubierto incluso el gen de Napoleón.

Tales pruebas genéticas no son baratas, se exigen unas sumas que alcanzan los cuatro dígitos. Desgraciadamente hacen agua por todas partes, ya que, para realizar sus pruebas, esas empresas vendedoras comparan el ADN mitocondrial y los cromosomas Y de sus clientes con el ADN de seres humanos del pasado. Como rótulo les sirve, por ejemplo, el «ADN de los celtas». Si el ADNmt de un cliente coincide con las muestras de ADN de tumbas celtas, se deduce de ese hecho un linaje directo. Sin embargo, el ADN mitocondrial de los celtas se encuentra también en la Edad de Piedra y en la Edad del Bronce, o en la Europa medieval, cuando en esta época no existía ninguna cultura celta. Además, el ADNmt resulta absolutamente improcedente para demostrar algún parentesco cercano a cualquier otra persona del pasado. El ADN mitocondrial es exclusivamente la información genética de una única mujer, la cual es una antepasada entre millones. De ahí que las ideas acerca de pueblos primigenios celtas no sean nada más que un bulo. Quien ponga algún valor al hecho de poseer un parentesco con Napoleón no podrá llegar a ninguna conclusión a partir de las pruebas que le ofrecen esas empresas. Y es que el ADN mitocondrial de Napoleón no solo lo llevaban en su interior él mismo y su madre, sino probablemente a su vez miles de personas más que vivieron en aquella época.

Digamos de pasada también que el placer por tener antepasados ilustres puede salirle a uno del todo gratis. Carlomagno, que hace más de mil años engendró por lo menos a catorce hijos e hijas, puede pasar por el antepasado de la mayoría de los europeos. Se trata de matemática pura, la cual indica que cada europeo de hoy tenía hace mil años muchos más antepasados que el número de personas que vivía por aquel entonces. A la inversa, casi todas las líneas de las personas de aquella época que llegan hasta la actualidad conducen hasta cualquier europeo. La probabilidad de que en ellas hubiera por lo menos un hijo o una hija de Carlomagno está muy próxima a la certeza[12]. Así pues, simplemente podríamos decir asimismo que todos los

europeos tuvieron antepasados comunes en algún momento en estos últimos mil años. Al mismo tiempo, el ADN compartido con un ancestro se reduce a la mitad con cada generación. Es más que probable que la herencia genética de un antepasado de hace diez generaciones ya no pueda ser detectada en un genoma actual.

Como es natural, también hay empresas cuya oferta es más seria y que examinan todo el genoma nuclear y suministran resultados más válidos acerca del origen genético. En ellos, las características genéticas son clasificadas por regiones. El principio que lo sustenta es simple: cuanto más próximas en el espacio vivan las personas, mayor será el grado de parentesco entre ellas, ya que habrá transcurrido menos tiempo desde sus últimos antepasados comunes. La distancia genética entre británicos y griegos es tan grande como entre españoles y bálticos, y en medio quedan los europeos de la Europa central. Si dibujamos la distancia genética entre europeos en un eje de coordenadas X e Y, estas coordenadas prácticamente coinciden con un mapa de Europa.

Esto no tiene nada que ver con pueblos primigenios. Si contemplamos, por ejemplo, la migración de los pueblos, es decir, un concepto nuclear de la idea generalizada de pueblos primigenios, encontramos en esa época un gran intercambio genético entre los europeos, pero ningún desplazamiento genético fundamental. Tenemos que remontarnos hasta cinco mil años en el pasado para toparnos con el último gran movimiento migratorio que transformó el ADN de todos los europeos en términos cuantificables. El ADN de los seres humanos que llegaron por aquel tiempo desde las estepas de la Europa oriental ha sido uno de los tres componentes genéticos dominantes en el continente hasta hoy. Los otros dos proceden de los primitivos cazadores y recolectores, y de los agricultores que inmigraron procedentes de Anatolia. El porcentaje genético de estas tres poblaciones primigenias —solo aquí resulta adecuado este término— es cuantificable en cada persona con raíces europeas por medio de un desciframiento del ADN. Muchas empresas ofrecen entretanto este tipo de pruebas. Que cada cual decida por sí mismo si le resultan útiles tales ofertas.

Sin duda, es interesante saber si uno se halla genéticamente más cerca de cazadores y recolectores, de los primeros agricultores o de los habitantes de las estepas. Sin embargo, la mayoría de esas empresas comerciales apenas pueden proporcionar algo más que folclore, ya que los diferentes componentes nos dicen en verdad algo sobre el origen genético, pero nada sobre las predisposiciones. Los humanos más distantes genéticamente unos de otros en el mundo siguen portando un 99,8 por ciento de ADN idéntico, e

incluso del neandertal nos diferenciamos en menos de un 0,5 por ciento de nuestro genoma. Por tanto, cuando hablamos de desplazamientos genéticos, se trata siempre tan solo de cambios en una parte mínima del ADN. Las poblaciones que están muy relacionadas geográfica y genéticamente, como, por ejemplo, franceses y portugueses, solo pueden distinguirse entre sí con la ayuda de una secuenciación de alto rendimiento.

El hecho de que los fundamentos genéticos de los europeos se establecieran hace, aproximadamente, 4500 años no significa que la arqueogenética no tenga nada más que aportar a la época posterior. Esta disciplina se encuentra todavía en sus comienzos y hasta el momento ha investigado realmente a fondo sobre todo la prehistoria y la protohistoria. Más adelante, se colocarán en el foco de los arqueogenetistas probablemente los sumerios, los egipcios, los griegos y los romanos. Hasta el momento, el interés hacia ellos es menor porque existe una considerable tradición escrita de esas épocas, conocemos numerosos detalles históricos, incluidos los banquetes de los emperadores romanos. Para la mayoría de los arqueogenetistas tienen prioridad aquellas épocas que carecen de registros escritos.

Las descodificaciones del ADN también pueden suministrar nuevos conocimientos acerca de las corrientes migratorias de los pueblos, pero estas se ocupan más bien de los oligoelementos genéticos. Y es que en el siglo VI d. C., los migrantes llegados a Europa apenas pudieron dejar una mayor huella genética. Simplemente vivían ya demasiadas personas aquí para que incluso grupos de varias decenas de miles de inmigrantes hubieran podido provocar alteraciones genéticas. Como es natural, con ello sigue sin declararse nada todavía acerca de las repercusiones sociales, políticas y culturales de las inmigraciones.

EL VIAJE DE LA PESTE Y DEL CÓLERA

Junto con el desciframiento del ADN de seres humanos fallecidos hace mucho tiempo, otra rama de la investigación arqueogenética ha despertado también mucha curiosidad en los últimos años: la descodificación de ADN antiguo de agentes patógenos. La migración de los humanos y el intercambio entre las poblaciones convirtieron al ser humano moderno en lo que es en la actualidad y le permitieron construir una civilización con un alto nivel de desarrollo y globalmente interconectada. Sin embargo, esa movilidad tenía su precio: las enfermedades infecciosas. En el transcurso de los últimos milenios

han muerto millones y millones de seres humanos, víctimas de bacterias y de virus que fueron promovidos por dos grandes tendencias relacionadas entre sí. Por un lado, la colonización cada vez más densa del planeta, que facilitaba que los agentes patógenos se expandieran entre los seres humanos y los diezmaran. Por otro lado, el intercambio cada vez más intenso entre las poblaciones, que produjo idéntico efecto, sobre todo por medio del comercio. Ambas fueron con toda probabilidad las causas de la propagación de los patógenos a nuevas regiones del planeta.

Esta historia puede contarse hasta bien entrada la Edad Moderna, cuando los habitantes originarios del norte de América quedaron diezmados de forma masiva por la viruela y el sarampión tras la llegada de los europeos, y probablemente, a cambio, los europeos se trajeron a casa la sífilis que, a su vez, causó mucho sufrimiento en nuestro continente hasta el siglo xx al cobrarse numerosas víctimas. Cuando hace unos pocos años se produjo un brote del virus del Ébola en el África occidental, todavía circulaba por todo el mundo el miedo a que la enfermedad pudiera propagarse a otras regiones.

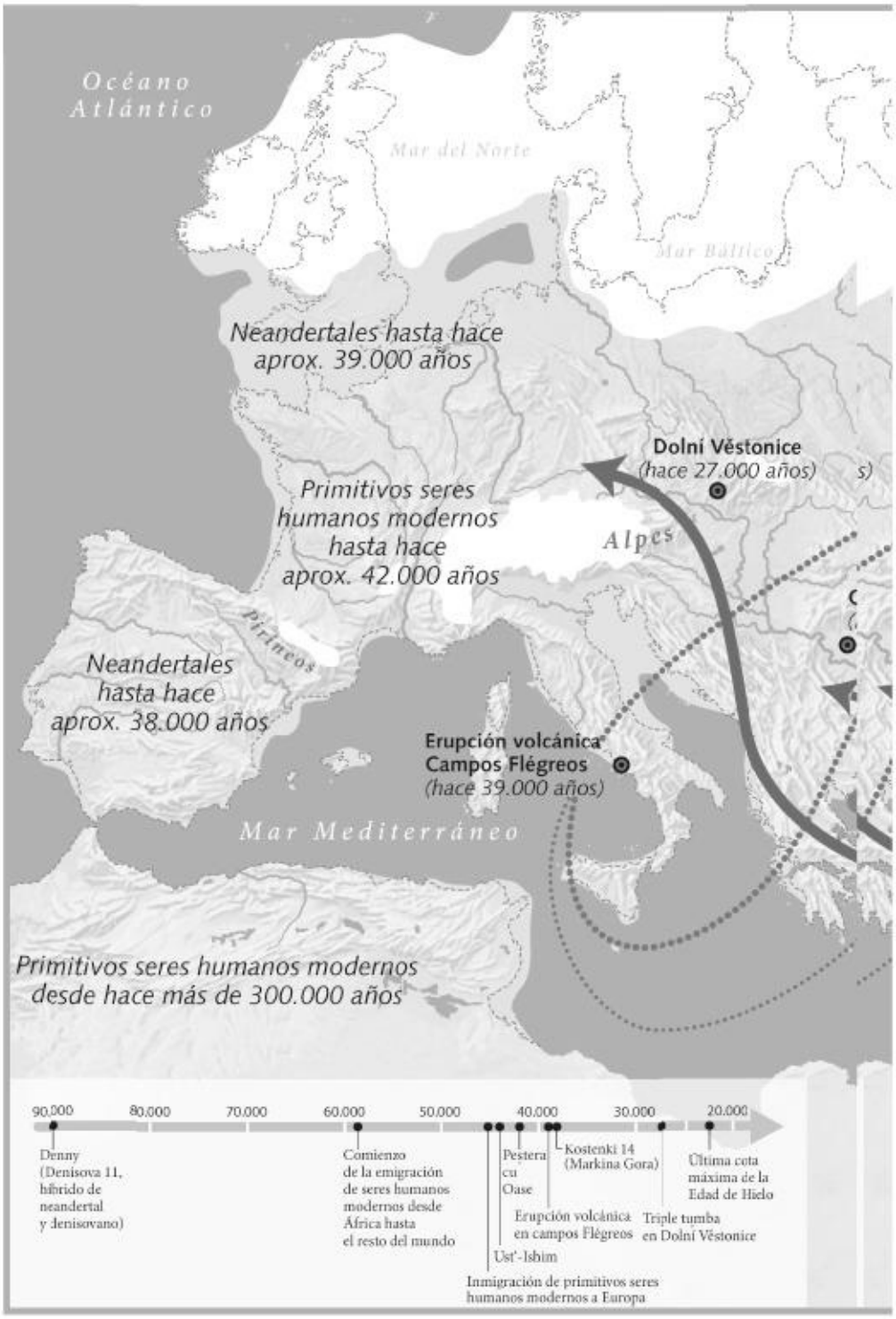
En los últimos años se están multiplicando los indicios de que las oleadas migratorias de la protohistoria están relacionadas con enfermedades infecciosas. Así, por ejemplo, el agente patógeno de la peste ya existía hace por lo menos 5200 años en el sur de la actual Rusia, es decir, en una región de la que después saldrían masivamente seres humanos hacia la Europa central, donde, aproximadamente por la misma época, disminuyó de manera drástica la población autóctona. ¿Podría ser que un agente patógeno introducido poco antes matara a esos humanos y su espacio fuera ocupado por quienes ya hacía tiempo que se habían adaptado a él? Muchas pistas indican que ese no es ningún escenario improbable.

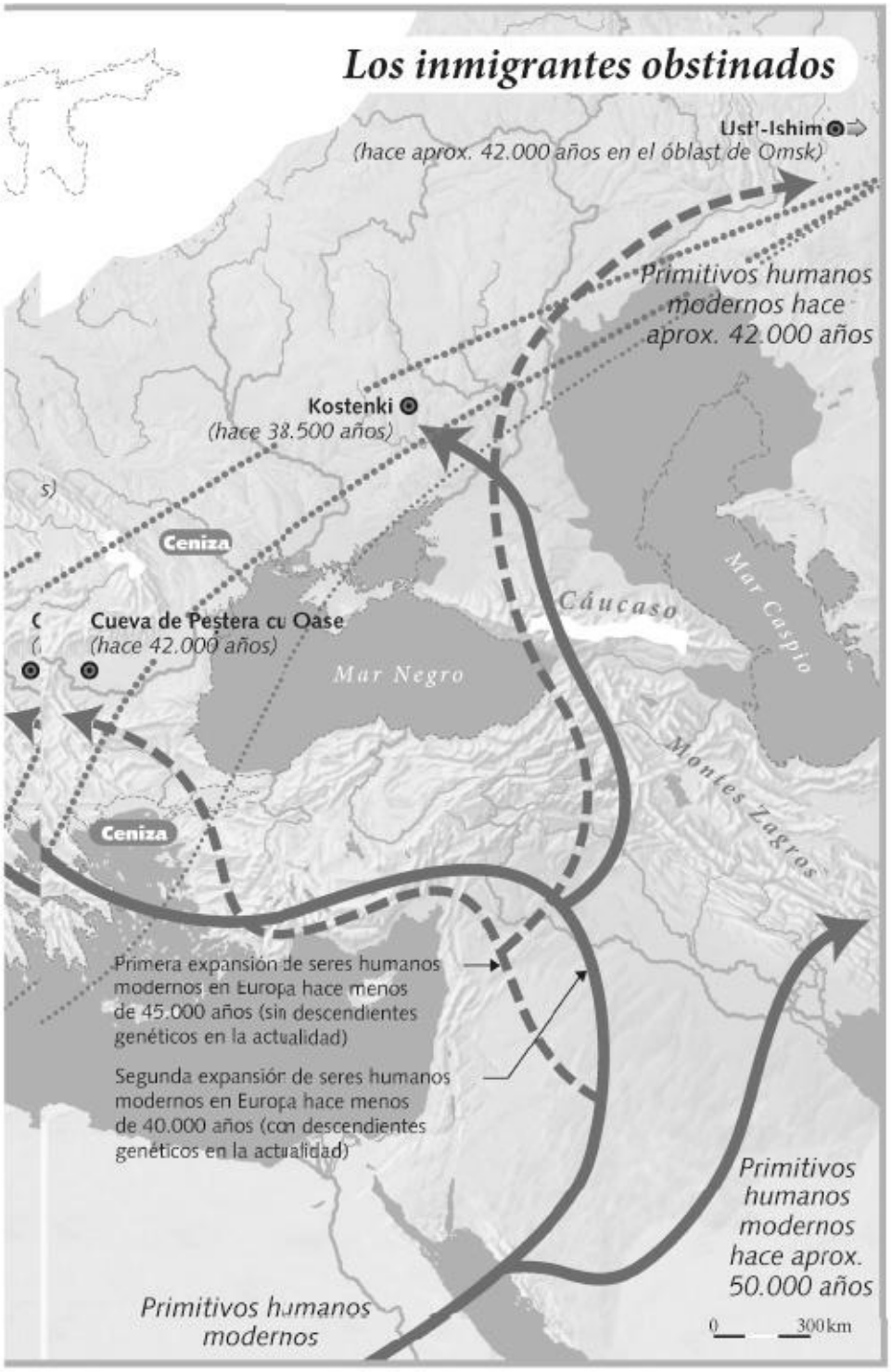
Hace alrededor de tres mil años, después de haberse completado en su mayor parte el viaje genético de los europeos, los agentes patógenos siguieron creando desasosiego una y otra vez en el continente. Comprender la evolución de esos bichos pequeños será el gran desafío que abordarán juntos en el futuro arqueogenetistas y médicos. Puede que el ser humano sea la especie más exitosa y móvil de la historia del planeta, pero hace milenios que las bacterias y los virus le están pisando los talones en su desarrollo genético. En este libro se describe también en detalle lo que sabemos hasta el momento sobre la carrera de ambos antagonistas y sobre lo que estos conocimientos nos dicen acerca de nuestras posibilidades para subsistir frente a ellos.

2

Los inmigrantes obstinados

Todos se lo montan con todos. Los seres humanos primitivos se hacen entender de alguna manera. El ser humano moderno conquista Europa. No hay perspectivas de permanencia fija. En los inviernos, al sur. Un reencuentro sorprendente. Los cazadores tienen los ojos azules.


Océano Atlántico
Mar del Norte
Mar Báltico
Neandertales hasta hace aprox. 39.000 años
Dolní Věstonice
(hace 27.000 años)
Primitivos seres humanos modernos hasta hace aprox. 42.000 años
Alpes
Pirineos
Neandertales hasta hace aprox. 38.000 años
Erupción volcánica Campos Flégreos
(hace 39.000 años)
Mar Mediterráneo
Primitivos seres humanos modernos desde hace más de 300.000 años
90.000
80.000
70.000
60.000
50.000
40.000
30.000
20.000
Denny (Denisova 11, híbrido de neandertal y denisovano)
Comienzo de la emigración de seres humanos modernos desde África hasta el resto del mundo
Pestera cu Oase
Kostenki 14 (Markina Gora)
Última cota máxima de la Edad de Hielo
Erupción volcánica en campos Flégreos
Triple tumba en Dolní Věstonice
Ust'-Ishim
Inmigración de primitivos seres humanos modernos a Europa


Los inmigrantes obstinados
Ust'-Ishim
(hace aprox. 42.000 años en el óblast de Omsk)
Primitivos humanos modernos hace aprox. 42.000 años
Kostenki
(hace 38.500 años)
Ceniza
Cueva de Pestera cu Oase
(hace 42.000 años)
Cáucaso
Mar Caspio
Mar Negro
Montes Zagros
Ceniza
Primera expansión de seres humanos modernos en Europa hace menos de 45.000 años (sin descendientes genéticos en la actualidad)
Segunda expansión de seres humanos modernos en Europa hace menos de 40.000 años (con descendientes genéticos en la actualidad)
Primitivos humanos modernos hace aprox. 50.000 años
Primitivos humanos modernos
0
300 km

SEXO ENTRE LOS HUMANOS PRIMITIVOS

Durante mucho tiempo solo pudo especularse acerca de las prácticas sexuales entre diferentes formas humanas primitivas, pero recientemente se han multiplicado los indicios para la obtención de certezas. Los seres humanos modernos se reprodujeron tanto con neandertales como con denisovanos. Y en 2018 se publicó el genoma descodificado de la hija de una neandertal y de un denisovano procedente de la cueva de Denisova. La niña vivió hace, aproximadamente, noventa mil años, murió a la edad de trece años y en la ciencia lleva el apodo de «Denny». Así pues, nuestros primeros parientes se mostraban, al parecer, muy abiertos a nuevas relaciones con otras formas humanas, lo cual no es que resulte demasiado sorprendente, pues en aquellos tiempos no existían en verdad muchas aplicaciones de citas.

La mezcla entre diferentes formas humanas ha quedado probada desde el desciframiento del genoma del neandertal. Su comparación con el de los seres humanos actuales demostró en el año 2010 que europeos, asiáticos y australianos llevan ADN neandertal en un 2 y hasta en un 2,5 por ciento de su genoma. El estudio de Denisova aportó unos conocimientos comparables: los aborígenes actuales de Papúa Nueva Guinea y de Australia —es decir, los descendientes de aquellos seres humanos modernos que hace decenas de miles de años llegaron desde África hasta esa región del Pacífico a través de Asia— poseen incluso un 5 por ciento de los genes denisovanos. Con ello queda confirmada la «teoría de la emigración africana», según la cual los seres humanos surgieron en África y desde allí conquistaron el planeta. Esta es la razón por la cual encontramos genes de neandertal en los seres humanos que viven fuera de África, pero no en los de la región subsahariana, es decir, en los territorios al sur del desierto del Sahara. Sus antepasados no vieron nunca a estos humanos primitivos.

Así que no nos llevamos ninguna sorpresa cuando, con el neandertal español de una edad aproximada de 420 000 años, quedaba demostrado de una manera indirecta que sus descendientes se habían mezclado con seres humanos modernos. Mucho más importante fue la comprensión de los primeros intentos de seres humanos modernos por expandirse por Europa. Gracias a la comparación de los genes de neandertales de una época temprana y de otra tardía, pudimos calcular que en algún momento hace entre 400 000 años (como máximo) y 220 000 años (como mínimo) debieron de llegar a

Europa por primera vez los antepasados de seres humanos modernos, si bien al principio no pudieron establecerse en ella de forma permanente[13].

El problema de la procreación consanguínea

Los neandertales vivían formando una franja desde la península Ibérica hasta la cordillera de Altái, sobre todo al sur de los Alpes y en el sur de la Francia actual, pero también en Oriente Próximo. Por desgracia, en la actualidad ya no es posible decir cuántos neandertales hubo, respectivamente, en Europa en diferentes épocas, pero el número escaso de hallazgos de huesos permite deducir una sociedad reducida y aislada durante decenas de miles de años[14].

FUERA DE ÁFRICA

La línea de nuestros antepasados que condujo al ser humano actual se escindió en África, hace como mínimo siete millones de años, de la línea de la que surgieron los chimpancés, nuestros parientes más próximos. En lo sucesivo se desarrollaron muchas más formas de homínidos, entre otras la del *Ardipithecus* y la del *Australopithecus*, de la que procede el famoso fósil de Lucy. Vivieron hace más de tres millones de años en África y tenían una apariencia mucho más similar a los chimpancés que a los seres humanos actuales. Hace, aproximadamente, 1,9 millones de años surgió la línea del *Homo erectus*: este se extendió en unos pocos cientos de miles de años por toda África y por amplias zonas de Eurasia y, por consiguiente, fue el primer humano primitivo que dejó África. En Eurasia continuó desarrollándose hasta convertirse, entre otros, en el denominado *Homo erectus pekinensis*, pero este acabó extinguiéndose. En cambio, en África surgieron del *Homo erectus*, hace unos 600 000 años, las líneas que conducirían al neandertal, al denisovano y al ser humano moderno.

Ya nadie duda de que la evolución del antepasado común del chimpancé y del ser humano se produjo en África. Sin embargo, sí era controvertido hasta hace poco (y para algunos científicos sigue siéndolo) el planteamiento de si la evolución del *Homo erectus* hacia *Homo sapiens* tuvo lugar solamente en África. Todavía hasta bien entrada la década de 1990 predominaba la llamada «teoría del multirregionalismo», según la cual los seres humanos de diferentes regiones del planeta se remontan por vía directa a los antepasados de su respectiva región: los europeos, a los neandertales; los africanos, al *Homo erectus* africano, al que también se denomina *Homo ergaster*; y los asiáticos, al Hombre de Pekín, es decir, al *Homo erectus* asiático. En cambio, según la teoría «fuera de África», el ser humano moderno se desarrolló a partir del *Homo erectus* en África, desde allí colonizó el planeta entero y desplazó a todos los demás humanos primitivos.

Durante décadas, estas teorías aguantaron parejas, y los representantes de ambas direcciones se lanzaban sus tesis unos a otros en los congresos. En la actualidad, con el conocimiento de los influjos genéticos de los neandertales sobre los europeos y de los denisovanos sobre los moradores de Oceanía, ambas teorías han quedado probadas, si bien con una ponderación muy diferente. Los europeos proceden de los africanos entre un 97 y un 98 por ciento, y de los neandertales entre

un 2 y un 2,5 por ciento. Los aborígenes de Australia y de Papúa Guinea son descendientes de neandertal y de denisovano en un 7 por ciento más o menos y de africanos en un 93 por ciento. Solo los habitantes de las regiones situadas al sur del desierto del Sahara no se mezclaron con otras formas humanas fuera de África.

Los fósiles más antiguos de *Homo sapiens* tienen una antigüedad aproximada de entre 160 000 y 200 000 años, y proceden de Etiopía. Sin embargo, no hay hallazgos que den información acerca de dónde se escindió exactamente la línea de neandertales y denisovanos de la del ser humano moderno. Durante mucho tiempo se ubicó la mayor parte de la evolución humana en el África oriental, principalmente porque allí se encontraron la mayoría de los huesos prehistóricos. Aun así, desde el año 2017 poseemos indicios de que la evolución del ser humano también tuvo lugar en otra parte de África. Y esto es así porque en Marruecos se halló el cráneo de un ser humano primitivo que vivió allí hace 300 000 años. Así pues, quedaba obsoleta la hipótesis del África oriental como único punto de partida del gran viaje de la humanidad. Las rutas y los cruces que emprendió la evolución humana en África quizá seguirán siendo un misterio durante mucho tiempo, y tal vez no llegue a resolverse nunca. Ahora bien, lo que sí se puede decir en la actualidad con toda seguridad es que todos nosotros tenemos nuestras raíces genéticas en África.

No fue un destino elegido por voluntad propia, pues el neandertal era al parecer un ser muy móvil; de lo contrario no habría penetrado en el macizo de Altái. Sin embargo, vivió en la Edad de Hielo en la que durante cientos de miles de años se acumularon de forma recurrente extensas masas de hielo glaciar insuperables. En Europa y en grandes partes de Asia imperaban unas condiciones de vida básicamente distintas de las de África, donde por la misma época se desarrollaba el ser humano moderno[15]. Muchos de los asentamientos neandertales estaban aislados del mundo exterior. Debido a la falta de variedad, estos humanos primitivos se reprodujeron con parientes cercanos y lejanos, lo cual condujo a la propagación de mutaciones perjudiciales. Resulta comprensible que aprovecharan cualquier oportunidad para ampliar el círculo de posibilidades y establecer nuevas relaciones, aunque se tratara de miembros pertenecientes a una forma humana diferente[16].

No obstante, no debería sobrestimarse en exceso la frecuencia de tales encuentros. Dado que Eurasia estuvo muy poco poblada durante la Edad de Hielo, para un neandertal sería igual que ver al yeti cuando durante sus incursiones por los bosques se encontraba de pronto frente a un ser humano moderno. Hay que suponer que esas situaciones no serían relajadas para ninguna de las dos partes, ya que después de todo estamos hablando de cazadores y recolectores de la Edad de Piedra, cuya vida en un entorno peligroso exigía una vigilancia continua y una disposición inmediata para la defensa. Sin embargo, al menos de manera ocasional esos encuentros

desembocaron en contactos sexuales que muy probablemente no siempre transcurrieron exentos de violencia.

Hasta el día de hoy sigue sin estar claro si los seres humanos modernos podían comunicarse con los neandertales de alguna manera que fuera más allá de la decisión básica de tener o no sexo (y opcionalmente de luchar o no luchar). Sea como fuere, el ser humano moderno dominaba un lenguaje complejo antes de emprender su viaje de África al resto de planeta[17]. En cambio, en el caso del neandertal, la ciencia sigue sin ponerse de acuerdo sobre si era capaz de articular y de qué manera lo hacía. Sin embargo, tiene que haberse hecho entender de algún modo porque, después de todo, los neandertales cazaban en grupos y para ello se requería de una estrategia conjunta. Los hallazgos arqueológicos apuntan también en esta dirección. Así, por ejemplo, un neandertal oriundo de la actual Israel, que vivió, aproximadamente, hace 60 000 años, posee un hueso vocal que se parece en gran medida al del ser humano actual. Los huesos vocales de chimpancés que hace siete millones años tenían un ancestro común con el ser humano y los neandertales no muestran esa similitud. Por consiguiente, la capacidad lingüística del ser humano primitivo podría haberse desarrollado después de su escisión respecto de los chimpancés, y antes de la escisión de los neandertales.

Esta suposición viene avalada por un segmento genético especial en el ADN humano que también poseían ya los neandertales en una forma casi idéntica. El denominado gen $FOXP_2$ no es ciertamente ningún gen del lenguaje, aunque solo sea porque no existe algo así según los conocimientos actuales. Los peces y los ratones también poseen ese gen, pero como todo el mundo sabe no hablan. Ahora bien, el $FOXP_2$ tiene una importancia fundamental: si muta, las personas afectadas pierden la capacidad de articular un lenguaje complejo. Los niños y las niñas que heredan un gen $FOXP_2$ defectuoso de uno de sus padres no pueden hablar apenas, y, si la mutación procede de ambos padres, la criatura ni siquiera puede sobrevivir. Al igual que el hueso vocal, el gen $FOXP_2$ se siguió desarrollando en el ser humano después de su escisión del chimpancé, mientras que no presenta ninguna diferencia significativa en la comparación entre neandertales y seres humanos modernos. Este resultado hace más plausible que el neandertal dominara como mínimo alguna forma simple de lenguaje[18].

CAE EL BASTIÓN DE EUROPA

Gracias a las pruebas genéticas tenemos conocimiento de que las primeras migraciones de los seres humanos modernos desde África se produjeron por lo menos hace 220 000 años. Sin embargo, durante cientos de miles de años pareció que los neandertales pudieron mantener su predominio en Europa y Asia, pues los intentos de expansión de aquellos acababan siempre en un callejón sin salida. Ciertamente, estos primeros inmigrantes engendraron descendientes de manera ocasional con los neandertales, aunque estos pocos casos deben considerarse atípicos. Las primitivas formas humanas euroasiáticas continuaron relacionándose entre ellas durante mucho tiempo.

No obstante, la migración del sur al norte prosiguió[19]. Para la época anterior, aproximadamente, a 45 000 años pueden constatarse en detalle con análisis de ADN al menos dos intentos que también se malograron igual que los anteriores. Un hallazgo procede del asentamiento siberiano de Ust'-Ishim, a dos mil quinientos kilómetros al este de Moscú. Allí murió por aquel entonces un ser humano moderno, cuyos ancestros llegaron al norte desde África. Y en la cueva de Pestera cu Oase, en Rumanía, fue encontrado un cráneo de 42 000 años de antigüedad que pasa por ser el hallazgo más temprano de un ser humano moderno en Europa. Sin embargo, este cráneo poseía una forma extraordinaria, y en el año 2015 un análisis de ADN demostró el motivo: había pertenecido a un híbrido con más del 10 por ciento de ADN neandertal. Ahora bien, entre nuestros antepasados directos no se cuentan los humanos encontrados en Siberia, ni en la cueva de Pestera cu Oase.

EL NEANDERTAL NO ESTÁ EXTINTO

El neandertal era, sin ningún género de duda, un ser humano, y contemplado desde un punto de vista evolutivo, es una minucia la diferencia genética entre él y el ser humano moderno. No obstante, nuestro pariente más cercano es clasificado en ocasiones como una especie humana separada. El establecimiento del sistema de especies se debe, y no en última instancia, al deseo humano de clasificar los fenómenos y de distinguirse a sí mismo respecto del reino animal. La definición más popular de «especie» podría ser probablemente aquella que dice que los miembros de diferentes especies pueden generar ciertamente descendientes en determinadas circunstancias, pero estos no podrán reproducirse a su vez. El ejemplo más conocido en nuestras latitudes es la mula como descendiente del caballo y del asno. Dado que está demostrado que los descendientes del apareamiento de neandertales y de seres humanos podían tener hijos, según aquella definición no sería posible establecer ninguna separación en este caso. Esto mismo sirve también para el denisovano. Sin embargo, teorías sobre especies como la evolutiva, la ecológica o la filogenética afirman que el ser humano y el neandertal son especies separadas. Pero las diferencias genéticas entre ellos son demasiado pequeñas para afirmar tal cosa.

Para neandertales y denisovanos resulta más apropiado el término «formas humanas», ya que se trata de diferentes manifestaciones del ser humano.

Estrechamente relacionada con el debate acerca de las especies nos encontramos con la cuestión de si el neandertal en efecto se extinguió. Es cierto que aparentemente no hay neandertales en la forma que tenían cuando vivían en Europa hace decenas de miles de años, pero si tenían descendientes con capacidad procreadora con los seres humanos modernos y, por tanto, llevamos actualmente ADN neandertal en nosotros; podríamos decir también que los neandertales se han fusionado en nosotros. Si la población de los primeros seres humanos modernos en Europa hubiera sido cincuenta veces más numerosa que la de los neandertales, la mezcla genética actual de cincuenta a uno sería un reflejo de esas relaciones. Algunos de los genes de neandertal se han extendido con particular éxito y han influido, por ejemplo, en las propiedades de la piel. De esta manera, los europeos obtuvieron su piel algo más gruesa probablemente del neandertal, tal vez porque protege mejor del frío que la piel más fina de los africanos.

Sin embargo, poco después llegaría el momento propicio. Hace alrededor de 40 000 años, los seres humanos que iban a convertirse en nuestros antepasados directos se expandieron por Europa y Asia. En esa época, los humanos, partiendo desde Oriente Próximo y a lo largo del mar Negro, encontraron la vía hacia el Danubio y luego hacia la Europa central. Los amantes del ciclismo saben que en la actualidad se puede alcanzar Rumanía desde el sur de Alemania a lo largo del segundo río más largo de Europa. Hace 40 000 años, la ruta desde el delta del Danubio hasta la Selva Negra era cualquier otra cosa menos un paseo, pero fue uno de los pocos corredores que hicieron posible el acceso a través de los Balcanes a la Europa central, cercada parcialmente por imponentes masas de hielo. Era un destino que merecía la pena. A pesar de la Edad de Hielo, no faltaban pastos verdes que atraían a numerosos mamuts, a rinocerontes lanudos o a megaloceros. Estos animales ocupaban un lugar muy elevado en la dieta tanto de los neandertales como de los seres humanos modernos.

Con esta primera gran oleada migratoria comenzó en Europa el periodo Auriñaciense, que traería un cambio impresionante. Los humanos auriñacienses eran artistas en toda regla que dominaban técnicas desconocidas hasta entonces. Tallaron caballos, seres humanos o incluso fantásticas criaturas mixtas como el humano-león de la cueva de Stadel, en Hohler Stein, situada en la sierra de Jura de Suabia. Con huesos de aves fabricaban flautas. Desarrollaron un entusiasmo especial que se convertiría en una tradición en Europa durante muchos miles de años: los humanos auriñacienses se apasionaron por las denominadas «estatuillas de Venus». En la sierra de Jura de Suabia, los arqueólogos han encontrado el ejemplar más antiguo hasta el momento. Muestra una vulva llamativamente grande y redondeces que

también son típicas en otras figuras de esa época. Un centro de la cultura auriñaciense se hallaba en el sur de la actual Alemania, donde los seres humanos vivían en condiciones favorables, entre otras razones por la abundancia de caza mayor. El hecho de que encontraran tiempo bajo las condiciones de vida de aquel periodo para entregarse con pasión a realizar obras de arte y a la música apunta a una población relativamente grande, pues de lo contrario la lucha diaria por la supervivencia habría movilizado todas las fuerzas de trabajo disponibles.

Son varios los planteamientos que explican este enorme impulso en el desarrollo del arte y de la cultura que caracterizaría los siguientes diez mil años, aproximadamente. Todo aquel que conozca el invierno en la Europa central podrá comprender esos enfoques, según los cuales los humanos de aquel entonces podrían haberse aburrido soberanamente cuando debían refugiarse del frío en las cavernas; entre los arqueólogos se debate también que esas laboriosas obras de arte servían para ganar estatus en la competencia por obtener una pareja sexual; los y las artistas más hábiles tenían mejores oportunidades con el sexo opuesto. Cualquiera que fuera el motivo que movió a los auriñacienses a esa extraordinaria creatividad, para los estándares de la Edad de Piedra fueron grandes estetas.

Lluvia tóxica en el horizonte oscuro

Cuando los seres humanos modernos llegaron a la fría Europa desde la cálida África, no eligieron la mejor época para viajar. El clima europeo seguía enfriándose cada vez más y avanzaba hacia su «Último Máximo Glacial», que comenzó hace 24 000 años y fue terminando lentamente hace 18 000 años. Esta mega Edad de Hielo hizo imposible cualquier forma humana de vida en la Europa central durante mucho tiempo. El enfriamiento se vio reforzado por un suceso de proporciones apocalípticas que sacudió el continente hace unos 39 000 años. Una erupción del supervolcán de los Campos Flégreos en las cercanías del Vesubio oscureció toda Europa y enfrió adicionalmente el clima de la Edad de Hielo. Las cenizas se extendieron hacia Oriente sobre los Balcanes hasta bien entrado en el territorio de la actual Rusia. En algunas regiones, la capa de cenizas llegó a alcanzar varios metros de espesor. Como la luz solar no podía penetrar ya en muchos lugares, descendió la temperatura media, los geólogos estiman que ese retroceso fue de hasta cuatro grados centígrados. La vegetación es probable que muriera en grandes extensiones de

Europa durante varios años, pues el agua potable quedó envenenada por la lluvia de cenizas.

HUIDA Y CAZA DE ACOSO

Comparados con sus parientes más cercanos, los chimpancés, los humanos son pésimos trepadores. Las manos y los pies de los monos están totalmente adaptados para trepar a los árboles, donde encuentran alimento, lugares para dormir y protección contra los atacantes. Sin embargo, desde que los caminos del ser humano primitivo y del chimpancé se separaron, estas habilidades fueron disminuyendo en el primero. A cambio, nuestros ancestros desarrollaron competencias nuevas. Los brazos de agarre se convirtieron en manos finas con las que fabricaron herramientas y armas para la caza. Sin embargo, el momento evolutivo culminante llegó con el andar erguido.

Si atribuimos a la evolución una voluntad (que no la tiene), este fue un experimento muy audaz. Caminar sobre dos piernas cuesta básicamente más energía que el conocido paso a cuatro patas de los monos. Sin embargo, esto no es válido para la carrera, es decir, para la locomoción rápida, porque en este caso el ser humano consume, más o menos, la misma cantidad de energía que al caminar esa misma distancia. El paso evolutivo hacia la carrera efectiva fue extremadamente lógico hace casi dos millones de años. Y es que la Edad de Hielo, con sus periodos alternativos de calor y de frío, transformó a fondo el paisaje de África durante ese tiempo. Las zonas arboladas se convirtieron en sabanas en las que sobre todo crecían hierbas. Solo quedaban unos pocos árboles para trepar, razón de más para mantener la cabeza por encima de los pastos y, por ejemplo, poder detectar a los depredadores. A diferencia de otras formas humanas que no caminaban erguidas en la misma medida (y que se extinguieron con posterioridad), el *Homo erectus* fue capaz de afirmarse en la sabana. En cambio, los chimpancés y los humanos primitivos trepadores probablemente continuaron en los territorios selváticos que conformaban una gran parte de África por aquella época, y en los cuales los trepadores profesionales seguían teniendo ventaja.

Caminar erguido posibilitó al *Homo erectus* una estrategia de caza completamente nueva. Sin embargo, para alcanzarla requeriría todavía de otras mutaciones como, por ejemplo, la sucesiva pérdida de pelo. Podía cubrir distancias casi ilimitadas sin sobrecalentarse. Se convirtió en el campeón del mundo en carreras de resistencia. En las extensas sabanas seguramente podía rastrear y matar a sus presas con facilidad. Una gacela puede correr con rapidez, cierto, pero no durante mucho tiempo, como también les ocurre a la mayoría de los mamíferos. Mueren después de distancias considerables; el caballo, por ejemplo, muere después de cuarenta kilómetros como mucho a la carrera. De ahí que los humanos primitivos se limitaran simplemente a perseguir a esos animales hasta que ya no podían más. Al final solo necesitaban una piedra para acabar con el animal exhausto. Esa capacidad para la carrera de resistencia fue igual de útil en condiciones opuestas, es decir, para huir, por ejemplo, de las catástrofes naturales.

La inteligencia humana es, probablemente, una consecuencia directa del andar erguido, ya que, como cazador, el ser humano aumentó de manera involuntaria su suministro de energía. El incremento de grasa y de proteína animal le permitió acentuar un órgano que debe considerarse como el más puro devorador de energía. En el ser humano moderno, el cerebro consume alrededor de una cuarta parte de la energía del cuerpo, a pesar de que por regla general representa menos del 2 por ciento de su peso corporal. Gracias a su eficiente cerebro, el ser humano es en la

actualidad superior a todos los demás seres vivos: su inteligencia le permitió colonizar el planeta entero y llegar a la Luna. Este salto evolutivo es mensurable: el cerebro del chimpancé pesa menos de cuatrocientos gramos; el de los seres humanos, aproximadamente, tres veces más. Y muchas personas tienen claro en el presente que con lo que mejor se relajan después de un exigente día de trabajo duro en la oficina es con salir a correr.

La región en torno a los Campos Flégreos —a la que pertenece Nápoles— pasa por ser en la actualidad una de las zonas volcánicas más peligrosas del planeta, y algunos geólogos sostienen que en los próximos siglos podría producirse de nuevo una gran erupción.

Si las condiciones de vida eran ya de por sí duras en Europa hace unos 39 000 años, ahora se volvieron letales. Es posible que esa erupción volcánica asestara la puntilla mortal a los neandertales que ya se estaban batiendo en retirada ante los recién llegados de África, que ya se mantenían firmes sobre todo en el oeste de Europa. Otras catástrofes naturales también podrían haber contribuido a su desaparición. En cualquier caso, los últimos neandertales vivieron, aproximadamente, hace entre 39 000 y 37 000 años; el ser humano moderno asumió el dominio de Europa en solitario.

Las consecuencias de aquella imponente erupción volcánica resultaron ser un golpe de suerte para la ciencia, pues en las cenizas se halló el ser humano más antiguo conocido hasta la fecha, que dejó su huella genética en los europeos actuales. Gracias al desciframiento de su información genética sabemos hoy que los seres humanos de la cultura auriñaciense se cuentan entre nuestros antepasados. Los huesos se encontraban enterrados en las cenizas volcánicas cerca del sitio arqueológico de Kostenki, en el oeste de Rusia, y por esta razón estaban en perfectas condiciones de conservación. En el año 2009 pude descifrar a partir de ellos el primer ADN mitocondrial de un ser humano moderno de la Edad de Hielo. Las ofrendas funerarias del denominado Hombre de Kostenki (Markina Gora) apuntaban a que probablemente pertenecía a la cultura auriñaciense. Dado que yacía entre las cenizas volcánicas, debió de vivir después de la erupción, pues de lo contrario la capa de cenizas habría estado por encima de él**[20]**.

En esa época, Europa se hallaba inmersa en un cambio genético radical. La Edad de Hielo volvió a mostrar de lo que era capaz al diezmar a los seres humanos de la cultura auriñaciense. Este retroceso poblacional vino acompañado de una disminución extrema de la fauna europea. Hace, aproximadamente, 36 000 años se produjo en Europa una extraña extinción masiva de especies animales. No solo afectó al mamut, sino también al

bisonte, al lobo y al oso cavernario. Se perdió todo rastro de las hienas; su lugar lo ocuparon sus respectivos parientes de la Europa oriental y del norte de Asia. Y con esos nuevos animales llegaron también seres humanos nuevos. Los últimos testimonios de la cultura auriñaciense en la Europa central están fechados hace unos 32 000 años.

Comenzó el periodo de la cultura gravetiense. Al igual que los auriñacienses, estos nuevos inmigrantes practicaban la caza mayor, pero al parecer estaban mejor adaptados que sus predecesores al clima, que se estaba volviendo cada vez más frío[21]. Se desconoce su origen exacto, solo sabemos que procedían de Oriente. Uno de los hallazgos más famosos de esqueletos de la época gravetiense es la tumba triple del yacimiento arqueológico de Dolní Vestonice, situado al sudeste de la República Checa, que desde su descubrimiento en 1986 ha fascinado a los arqueólogos no solo porque es uno de los escasos enterramientos triples del Paleolítico superior, sino también porque esa tumba ofrece un simbolismo con un grado elevado de misterio: los tres esqueletos enterrados hace unos veintisiete mil años bajo un hueso de mamut produjeron en muchos arqueólogos la impresión del enterramiento de un trío romántico. Los tres muertos yacían muy juntos: las dos manos de la persona enterrada en el lado izquierdo estaban en la entrepierna de la persona que ocupaba el centro, cuya mano, a su vez, rozaba la de quien se encontraba a la derecha. No podía tratarse de una mera casualidad, ya que las caras de los muertos se hallaban cubiertas de arcilla, y en la tumba, de nuevo en la entrepierna del fallecido que ocupaba el centro, además de en otros lugares, había ofrendas funerarias concienzudamente envueltas en paños.

Desde que se descubrieron los restos, todo esto resultó evidente para los arqueólogos, pero en un punto básico no existía unanimidad: el sexo del individuo del centro. Esta persona padecía una enfermedad ósea que imposibilitaba determinar anatómicamente su sexo como en el caso de los otros dos, que eran del sexo masculino. A causa del simbolismo y de la posición entre dos esqueletos masculinos, la mayoría de los expertos asumieron que se trataba de una mujer, una interpretación que nosotros refutamos mediante una secuenciación del ADN de los tres individuos en el año 2016. El esqueleto con la enfermedad ósea también era un hombre. Podía seguir tratándose de una relación a tres, por supuesto, aunque no en la secuencia supuesta durante mucho tiempo. Además, los dos individuos de los lados eran hermanos o por lo menos hermanastros, tal como reveló el ADN mitocondrial.

Los tres individuos murieron, aproximadamente, a los veinte años. Portaban los genes de aquellos seres humanos que se expandieron por aquella época por Francia, en el oeste, hasta el norte de Italia, por el sur, y hasta la parte occidental de Rusia, tal como sabemos ya gracias a muchos análisis de ADN. No solo la triple tumba da testimonio de la elevada capacidad artística y del sentido de lo simbólico entre los humanos de la cultura gravetiense, sino que los hallazgos arqueológicos de esta época resultan todos impresionantes. Son conocidos sus adornos y sus pinturas rupestres; los recién llegados, además, prosiguieron con la tradición de las estatuillas de Venus talladas. Existen buenos motivos para designar a los humanos de la cultura gravetiense como los tempranos pobladores de Europa más exitosos debido a su historia a lo largo de casi diez mil años. Sin embargo, ni siquiera ellos tuvieron alguna posibilidad de subsistir frente al adversario más duro al que la humanidad tuvo que enfrentarse en aquel tiempo: la Edad de Hielo.

UN PUENTE HACIA ORIENTE

En el Último Máximo Glacial se extinguió en la Europa central cualquier forma de vida; durante seis mil años, el hielo lo suplantó todo. Lo que ocurrió con los seres humanos que se habían establecido previamente en el continente podemos deducirlo de los genes que prevalecieron en Europa después de ese periodo de congelación extrema.

Debemos suponer que los humanos de la cultura gravetiense desaparecieron probablemente para siempre; al menos no hay pruebas de lo contrario, por ejemplo, en el genoma de los europeos actuales. Ahora bien, sus predecesores, los seres humanos de la cultura auriñaciense, consiguieron huir al parecer hacia la península Ibérica, donde encontraron refugio frente al eterno invierno. Es cierto que no existen datos genéticos en esta región del periodo del Último Máximo Glacial, pero sí de una época posterior que demuestran que los seres humanos que vivieron hace 18 000 años en lo que hoy es España y Portugal portaban en su interior justamente aquellos genes que encontramos en los seres humanos de la cultura auriñaciense. Por lo visto se trasladaron hace unos 32 000 años desde la Europa central hasta el sudoeste europeo para escapar del frío cada vez más agresivo. En el Último Máximo Glacial de la Edad de Hielo, los Pirineos, cubiertos de glaciares, aislaron su nueva tierra del resto de Europa. Por consiguiente, resultaba imposible un intercambio genético con poblaciones que vivían más al norte. Para los habitantes del refugio ibérico quedó bloqueada también la vía hacia el sur.

Desde luego veían África a través del estrecho de Gibraltar, pero no podían acceder a ella porque no disponían de los recursos técnicos ni de las facultades físicas para superar el mínimo de catorce kilómetros (conforme al nivel del mar actual) que separan a los dos continentes, sobre todo teniendo en cuenta que allí dominaba una corriente muy intensa[22].

Aunque los genes del periodo Auriñaciense pasaron aquel largo invierno en el sudoeste europeo, eso no significa, como es natural, que todos los miembros de esta cultura consiguieran escapar del frío. En aquel descenso de las temperaturas en la Europa central sucumbieron presumiblemente muchos seres humanos y solo una minoría consiguió escapar. Sin embargo, su historia prosiguió y sus genes se conservan en Europa en la actualidad. Hace, aproximadamente, 18 000 años, al final de aquella mega Edad de Hielo, los humanos regresaron a la Europa central desde la península Ibérica. Y allí (y esto es lo que nos permiten deducir los análisis genéticos y los hallazgos arqueológicos) se encontraron con humanos que habían partido de la región balcánica. Ambas poblaciones se mezclaron.

Hasta la fecha, poco podemos decir sobre los genes de los habitantes de los Balcanes de por aquel entonces porque faltan hallazgos óseos aprovechables. Sin embargo, sabemos que esos moradores contribuyeron al ADN europeo. Y ese dato conectaba con un gran misterio para nosotros hasta hace poco. Pues, sorprendentemente, se sabía que los inmigrantes del sudeste tenían un componente genético que también está presente en las personas que viven en la actualidad en Anatolia. Esto llevó a suponer que los inmigrantes del sudeste tenían sus raíces allí; así pues, sus antepasados colonizaron primeramente los Balcanes y después del Último Máximo Glacial penetraron en la Europa central. Ahora bien, no había ningún tipo de prueba arqueológica que demostrara esa migración desde Anatolia hasta los Balcanes. No fue hasta el año 2019, con la secuenciación de cazadores y recolectores anatolios en el Instituto de Jena, que pudimos averiguar cómo debió de ocurrir todo en realidad: no fueron los habitantes de Anatolia quienes llevaron sus genes a Europa, sino que fueron los habitantes de los Balcanes quienes llevaron los suyos a Anatolia, extendiéndose hacia el este, mientras huían del frío gélido de la Edad de Hielo, y, una vez llegados allí, se mezclaron con la población local. Esos genes se derramaron desde los Balcanes como una oleada sobre Anatolia e incluso más allá, por África. Los turcos y los curdos actuales, al igual que los habitantes del norte de África, comparten con los centroeuropeos este componente genético procedente de los Balcanes.

Durante los tres milenios siguientes, se mezclaron en Europa las poblaciones genéticamente diferentes de la península Ibérica y de los Balcanes para formar un grupo más o menos homogéneo. Es por esa época que puede probarse por primera vez la conexión genética entre Europa y Anatolia. Durante algunos miles de años, aquellos cazadores y recolectores de ojos azules y piel oscura y muy desarrollados técnicamente dejaron su impronta en el continente europeo. Desde un punto de vista genético, esa población se hallaba, como nunca lo había estado antes, en unas condiciones excepcionales. La progresiva desaparición de las barreras de la Edad de Hielo hicieron que esos seres humanos ganaran en movilidad, comenzó un animado intercambio social que al final quedó plasmado en un intenso reajuste del patrimonio genético.

Paulatinamente Europa se calentó, ascendieron las temperaturas y este clima favorable atrajo a nuevos seres humanos. Estamos a las puertas de la siguiente gran inmigración. Iba a dar comienzo la fase decisiva de la historia genética de Europa.

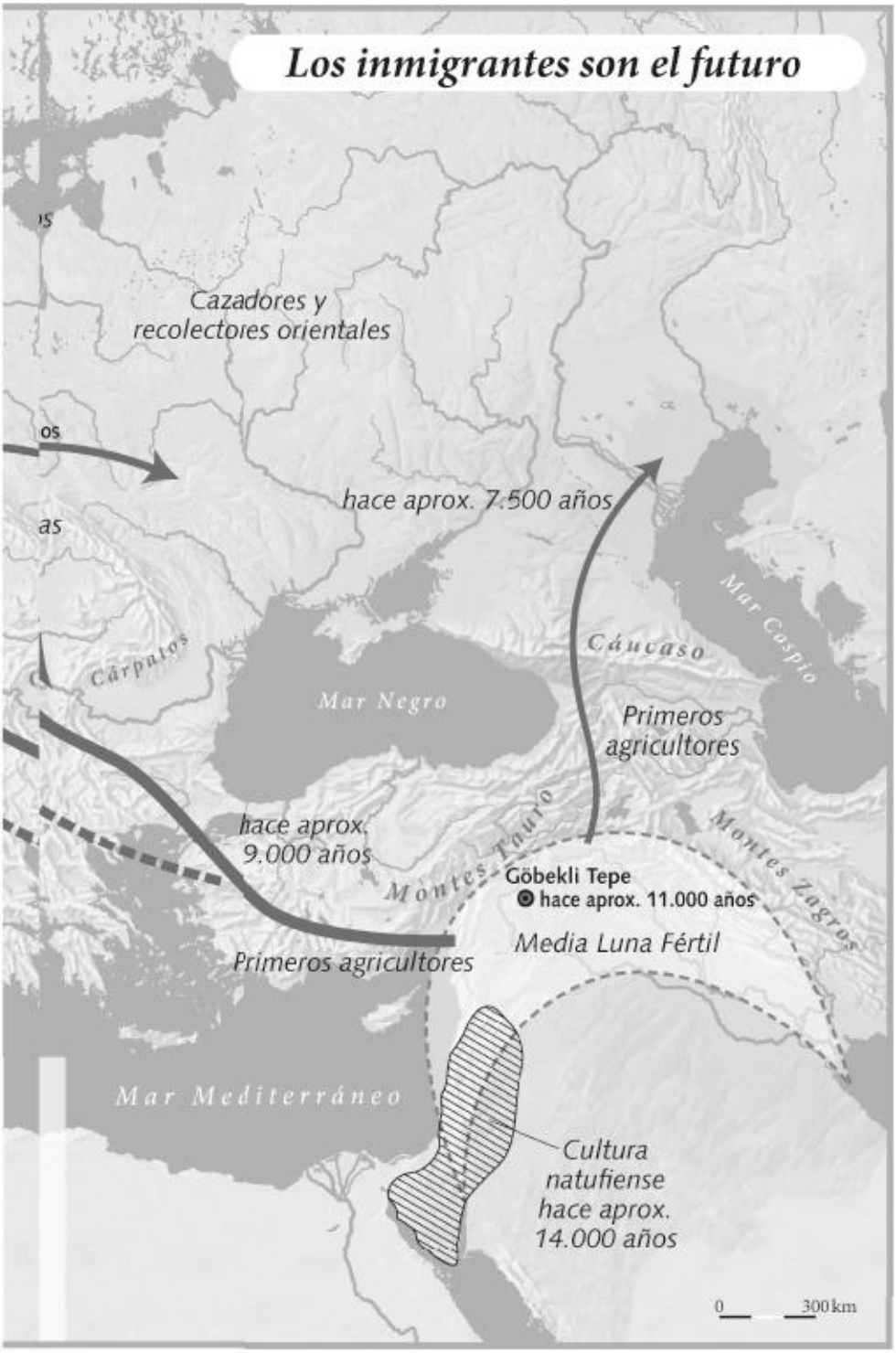
3

Los inmigrantes son el futuro

El calentamiento de la Tierra lleva a los seres humanos al norte. Antes todo era más sano. Dos hijos son suficientes. La campesina suaba era de Anatolia. La piel clara facilita la supervivencia. La ruta de los Balcanes da buenos resultados.

Los cazadores, en retirada.

Cazadores
y recolectores
escandinavos
hace aprox. 6.200 años
Mar del Norte
Mar Báltico
Océano
Atlántico
Bad Dürrenberg
hace aprox. 8.000 años
Cazadores
y recolectores
occidentales
Cultura de la cerámica de bandas
hace aprox. 7.500 años
Alpes
Cultura de Starčevo
hace aprox.
8.500 años
Pirineos
Cazadores
y recolectores
ibéricos
Cultura de la
cerámica cardial
hace aprox.
7.500 años
Mar Mediterráneo
15.000
14.000
10.000
9.500
9.000
8500
8.000
7.500
7.000
6500
6.000
años
Dryas
reciente
Göbekli Tepe
Nace la agricultura
en la Media Luna Fértil
Cultura natufiense
en Oriente Próximo
Fase cálida Bølling-Allerød
Nueva expansión de seres humanos
modernos desde sus refugios en los Balcanes
y en la península Ibérica
Cultura de
Starčevo
(con los primeros
agricultores
de Europa)
La chamana de
Bad Dürrenberg
La cultura de la
cerámica de
bandas: primeros
agricultores de
Europa occidental
Primera agricultora
de Stuttgart
Cultura de los vasos
de embudo (primeros
agricultores en
Escandinavia)


Los inmigrantes son el futuro
Cazadores y recolectores orientales
hace aprox. 7.500 años
Cárpatos
Mar Negro
Cáucaso
Mar Caspio
Primeros agricultores
hace aprox. 9.000 años
Montes Tauro
Montes Zagros
Göbekli Tepe
hace aprox. 11.000 años
Media Luna Fértil
Primeros agricultores
Mar Mediterráneo
Cultura natufiense hace aprox. 14.000 años
0
300 km

El clima fue lo que desde el principio determinó por entero la historia de la inmigración en Europa. Todos los seres humanos que hallaron la ruta hacia aquí se toparon con un continente terriblemente frío. El Pleistoceno, también denominado la «era de la glaciación», comenzó hace unos 2,4 millones de años. La mayor parte de ese tiempo, el hemisferio norte ofrecía unas condiciones muy inhóspitas hasta el interior de los territorios de las actuales Italia y España. Una y otra vez se produjeron intervalos de decenas de miles de años denominados «interglaciales», es decir, periodos cálidos entre dos periodos glaciares, en los cuales las temperaturas medias estaban en parte por encima de las actuales. Sin embargo, en las fases más gélidas, el permafrost comenzaba al norte de los Alpes, y frente a las costas del norte de la península Ibérica se acumulaban las banquisas.

El hecho de que los neandertales vivieran en Europa por lo menos 450 000 años y de que los seres humanos modernos se expandieran hacia el norte durante la Edad de Hielo demuestra las enormes capacidades de adaptación que poseyeron ambas formas humanas. Consiguieron sobrevivir a pesar del clima inestable en sus variaciones. Así pues, la Edad de Hielo no fue ningún obstáculo para la evolución humana, sino que más bien la impulsó. Para resistir el frío, nuestros antepasados europeos se refugiaron en cuevas y, además, fabricaron vestimentas. Los hallazgos arqueológicos demuestran que, como muy tarde hace 40 000 años, los seres humanos modernos de Europa utilizaban agujas para coser la ropa con hilo o incluso con tendones. Existen también pruebas de primitivos depósitos de cuero y de pieles, y ocasionalmente de tejidos. Sin embargo, todas estas adaptaciones no bastaron para sobrevivir a la irrupción del frío hace 24 000 años. Los arqueólogos han calculado que en toda Europa occidental y en la Europa central vivían un máximo de cien mil personas al mismo tiempo, concentradas en unas pocas regiones.

Cuando tras el final del último periodo glacial, hace 18 000 años, el aumento de las temperaturas volvió a hacer habitable la Europa central y los humanos procedentes de los refugios del sur llegaron al norte, todo hacía pensar en el inicio de un nuevo periodo cálido. Del mismo modo que en los tres periodos interglaciales anteriores, fue haciendo cada vez más calor, y hace 15 000 años el proceso se aceleró. Los humanos pudieron extenderse por toda Europa durante ese estadio cálido intermedio denominado Bølling-

Allerød. Sin embargo, hace, aproximadamente, 12 900 años, Europa y el norte de Asia experimentaron un cambio climático que debió de ser perceptible ya a lo largo de la vida de una misma persona. En cincuenta años descendieron las temperaturas medias en algunas partes de Europa en nada menos que dos grados. El frío irrumpió sobre los seres humanos, y probablemente, tras una breve época de prosperidad, volvió a producirse un drástico retroceso poblacional. Ese breve periodo gélido se conoce como Dryas reciente; hoy sigue sin saberse lo que lo originó. Una de las hipótesis sugiere que gracias al calentamiento anterior se habían disuelto las barreras de hielo en el norte del Atlántico, a consecuencia de lo cual un gigantesco mar de hielo se desprendió de América del Norte hacia el océano paralizando, por tanto, la acción de la corriente del Golfo. Por aquel entonces, como sucede en la actualidad, esta corriente marina aportaba calor a las costas noroccidentales de Europa. Ese aporte cálido podría haber estado interrumpido durante un milenio y medio.

CAMBIO CLIMÁTICO POR AQUEL ENTONCES Y EN LA ACTUALIDAD

El calentamiento de la Tierra siempre ha ocasionado migraciones. En los últimos diez mil años posibilitó el levantamiento de una civilización europea que posteriormente dejaría su impronta en todo el mundo. En principio es posible que la presión migratoria que podría desencadenarse por el cambio climático actual tenga la misma dirección, esto es, de sur a norte, pero con una diferencia: si el calentamiento natural de hace diez mil años favoreció la expansión de los seres humanos, el calentamiento alimentado por la humanidad en la época moderna causará una *huida* del clima. Puede que el calentamiento global en la actualidad sea insignificante para la historia del planeta Tierra, pero para la sociedad global es un desafío sin precedentes.

Los motivos los encontramos en el propio Holoceno. Debido a este periodo, la cifra de seres humanos ha ido aumentando de forma constante y alcanzará en el año 2050, según las estimaciones actuales, los diez mil millones. Esto no solo incrementará la emisión de gases de efecto invernadero, sino que además dará lugar a la aparición de megametrópolis que, por razones infraestructurales, suelen encontrarse en la costa y se concentran especialmente en la región del Pacífico del sudeste de Asia. Allí, la subida constante del nivel del mar podría costarles su hogar a cientos de millones de personas. Algo similar ocurriría en África, un continente cuya población se prevé que aumente hasta el año 2050, cuando se podrían alcanzar los dos mil millones de seres humanos. Las sequías cada vez más frecuentes que se producen allí privarían de sus medios de subsistencia a cada vez más personas. La presión migratoria hacia el hemisferio norte, que posee mucha más masa terrestre, ya es perceptible en la actualidad, y nada parece indicar que vaya a disminuir en el futuro. No obstante, con el calentamiento global extensas regiones del norte de Eurasia y de Canadá podrían absorber quizá a muchas personas. Los suelos de permafrost en proceso de descongelación se utilizarían en la agricultura para dar alimento a más gente. Ahora bien, el metano liberado en esos

suelos durante el proceso de descongelación calentaría de manera adicional el clima.

Si únicamente consideramos la superficie de tierra habitable disponible como consecuencia del cambio climático, el calentamiento de la Tierra podría significar una ventaja añadida. Sin embargo, no es previsible saber qué rechazos y qué conflictos políticos ocasionarían las migraciones resultantes. O, mejor dicho, es preferible no querer imaginarlos. Lo mismo valdría para un escenario alternativo, es decir, para el fin del Holoceno por medio de una nueva Edad de Hielo. Todos los datos climáticos de los periodos interglaciales anteriores apuntan a que al norte de los Alpes dejaría de ser posible cualquier agricultura, y ello sucedería con mucha rapidez. Los europeos no podrían alimentarse por sus propios medios y probablemente tendrían que trasladarse al sur. Con los setecientos cincuenta millones actuales de europeos y con un continente africano con una densidad de población quizá muy elevada, este escenario sería también difícil de imaginar sin conflictos. Sin embargo, hasta ese momento todavía transcurrirán varios miles de años, y ese es el tiempo que, en cualquier caso, aún durará el Holoceno. Según otra teoría, tal vez el calentamiento global inducido por los seres humanos impedirá incluso por completo el retorno de la Edad de Hielo. De ahí que muchos geólogos y climatólogos ya no hablen del Pleistoceno o del Holoceno, sino del Antropoceno, la «edad de los humanos».

Europa no pudo comenzar a respirar hondo hasta hace 11 700 años. Con el comienzo del Holoceno, el periodo cálido en el que continuamos viviendo, las temperaturas se fueron volviendo decididamente más cálidas. Acabó la Edad de Hielo, por lo menos desde la perspectiva de los seres humanos de entonces y de ahora. En principio, el Holoceno no es otra cosa que lo que siempre ha tenido lugar a intervalos constantes durante los, aproximadamente, últimos 2,4 millones de años: un periodo interglacial que interrumpe una era gélida, pero que no le pone el punto final. Así pues, este Holoceno que lleva durando casi 12 000 años sería reemplazado por la siguiente Edad de Hielo tras un lento retroceso de las temperaturas, lo cual, sin embargo, no cambia nada en la amenaza existencial que representa hoy el cambio climático ocasionado por los seres humanos.

El comienzo del Holoceno fue, en cualquier caso, un golpe de suerte para la humanidad y marcó el comienzo de un cambio radical cuyo significado evolutivo se equipara con la evolución hacia el caminar erguido. La cuna del progreso no se hallaba en Europa, sino en Oriente Próximo. Allí hacía desde luego mucho más calor que en el norte, y los humanos aprovecharon las oportunidades que les ofrecía el clima. Comenzaba el Neolítico. Los cazadores y recolectores se convirtieron en agricultores y ganaderos, los seres humanos móviles se volvieron sedentarios.

LA VIDA SENCILLA EN LA NATURALEZA SALVAJE

Hace 11 700 años, después de que Europa comenzara a volverse más cálida, los cazadores y los recolectores siguieron imprimiendo su impronta durante mucho tiempo en el continente. Cazar y recolectar no fue simplemente un periodo de la historia, sino que es la naturaleza del ser humano. Desde que desarrolló el caminar erguido y utilizó recursos para la caza, desde que su cerebro, cada vez más eficiente, equilibró su inferioridad física con respecto a los animales grandes, fue optimizando durante millones de años su estrategia de supervivencia. El ser humano hizo aquello para lo que estaba hecho, la evolución lo moldeó con el transcurso del tiempo, de modo que mejoró cada vez más, y transmitió este conocimiento experto a sus descendientes. Este conocimiento ya no está presente en nuestra época (si dejamos aparte las muy escasas poblaciones de cazadores y recolectores que siguen existiendo y que, se presume, dejarán de existir en un futuro cercano). Una estancia de dos semanas en la naturaleza salvaje sin ningún recurso de la civilización seguramente tendría hoy un final letal para la mayoría de los europeos. Es cierto que en el interior del ser humano civilizado permanece el antiguo impulso cazador, pero por regla general fracasamos incluso en el intento de atrapar una gallina con nuestras propias manos.

Los humanos de la Edad de Piedra utilizaban jabalinas y lanzas de madera para la caza. Posteriormente llegaron los propulsores de venablos y luego los arcos y flechas. Para la elaboración de los materiales, demostraron una gran capacidad tanto en lo pequeño como en lo grande. Con piedras fabricaron herramientas con las que podían talar árboles imponentes, pero también cuchillos finos y puntas de flecha letales. Los adornos que aparecieron en Europa desde la llegada de los seres humanos modernos fueron ganando cada vez más en estética y detalle; además de conchas, plumas, dientes de animales, pieles y cuernos pequeños se utilizaron colorantes.

Una imagen especialmente impactante de la vida —y de la muerte— de aquel entonces nos la ofrece una tumba situada en la localidad de Bad Dürrenberg, en el estado federado de Sajonia-Anhalt, que entretanto ha sido investigada en profundidad. Allí, hace, aproximadamente, 8000 años fue enterrada una mujer de unos veinticinco años de edad, sentada, con un bebé en su regazo que al parecer había muerto con ella. A su lado yacían abundantes ofrendas funerarias realizadas con materiales de animales, entre ellos un cuerno de venado. En su tumba se encontró un colorante rojo y una especie de pincel primitivo que los arqueólogos supusieron que se trataba de una forma temprana de pintalabios. A causa de su aspecto extravagante en vida, se denomina a la difunta la «chamana de Bad Dürrenberg». Al igual que

otros hallazgos funerarios del Mesolítico, es decir, del periodo de transición entre el Paleolítico y el Neolítico que comenzó, aproximadamente, hace 11 700 años, esa tumba ilustra una compleja cultura de cazadores y recolectores de la Europa central. Estos daban valor a la estética y obviamente albergaban ideas religiosas, pues de lo contrario no habrían enterrado a los difuntos con ofrendas funerarias. En las tumbas también se encontraron alimentos, como si aquellos humanos hubieran querido ofrecer a sus difuntos algunas provisiones para el viaje. Parecen haber creído en que existía vida después de la muerte.

El alimento no escaseaba en absoluto en la cada vez más cálida Europa. El menú consistía en su mayor parte en carne, cuyos proveedores vagaban en abundancia por bosques y estepas, pero también había tubérculos, huevos de aves, hongos, gramíneas, raíces y hojas. En otoño hacían acopio de provisiones para poder sobrevivir al invierno. De las poblaciones actuales de cazadores y recolectores sabemos que por término medio emplean tan solo entre dos y cuatro horas al día para asegurarse la subsistencia. Los primitivos europeos vivían con sencillez y sus posesiones se limitaban a lo que llevaban encima. Los refugios que utilizaban de forma temporal simplemente los dejaban atrás, al igual que las herramientas de fabricación poco elaborada, pues, en caso de requerirlas, las hacían de nuevo. Había piedras por todas partes, también madera. Es cierto que los cazadores y recolectores estaban en constante movimiento, pero utilizaban campamentos base con el cambio estacional. Cazaban y recolectaban su alimento en un radio aproximado de dos horas a pie. Cuando no hallaban nada, ampliaban el espectro de su dieta, comían menos o finalmente emprendían el camino a otra parte. Cuando el clima se enfriaba, la ruta que por lo general tomaban era en dirección al sur, es decir, allí donde había más para buscar.

Los cráneos de estos antiguos cazadores y recolectores sorprenden por, en su gran mayoría, la impecable blancura de sus dientes. Por aquellos tiempos los humanos no comían alimentos dulces, como la miel, causante de las caries, y desde luego no conocían el pan, que la saliva descompone en azúcar. En cambio, sus colmillos presentan un fuerte desgaste. Aquellos humanos de la Edad de Piedra puede que los utilizaran como un tercer miembro cuando tensaban, por ejemplo, las pieles animales entre una mano y la boca para trabajarlas mientras tanto con la otra mano. De ahí que las lesiones dentales y sus consecuencias fueran la causa más frecuente de fallecimiento entre los cazadores y recolectores; la chamana murió también con toda probabilidad por las consecuencias de una inflamación aguda de las encías. Por el

contrario, los humanos de aquel periodo no padecían de enfermedades contagiosas, ya que las infecciones apenas podían propagarse entre unas poblaciones que vivían muy alejadas entre sí.

El modo de vida de ese periodo era aquel al que los seres humanos llevaban millones de años adaptándose genéticamente, y acogió a los mesolíticos en perfecto estado de salud. Las causas de muerte directas e indirectas más frecuentes de nuestra época eran inimaginables en la Edad de Piedra: enfermedades cardiovasculares, ictus, diabetes, por nombrar solo algunas. El auge de las «paleodietas», es decir, la alimentación limitada a la carne y a los vegetales, tiene por tanto cierta justificación. Sin embargo, en esas dietas entran en general muy pocos insectos, y la carne y las verduras actuales proceden casi exclusivamente de la ganadería y de la agricultura. Son poquísimos los apóstoles de las paleodietas que se alimentan de hierbas silvestres, raíces y de la carne de venado, así que no puede hablarse en propiedad de una dieta auténtica de cazadores y recolectores. Además, ir a un paleorrestaurante no exige la cantidad de movimiento que requiere la caza en la naturaleza a cielo abierto.

EL AMIGO MÁS ANTIGUO DEL SER HUMANO

Una de las mayores innovaciones de los cazadores y recolectores sigue caracterizando la vida de muchas personas: el perro. Para los cazadores, ese animal es irrenunciable; para muchas otras personas se trata de un miembro de la familia. Se calcula que hace entre 20 000 y 15 000 años se domesticó al lobo hasta convertirlo en perro. Sigue siendo un debate controvertido si este hecho ocurrió paralelamente en varios continentes o si tal vez tuvo su comienzo en la Europa de la Edad de Hielo. El hallazgo más antiguo de un perro en Alemania procede de una tumba doble en Oberkassel, cerca de Bonn, donde hace, aproximadamente, 14 000 años fue enterrado un hombre de cincuenta años junto a una mujer, de unos veinticinco. Las ofrendas funerarias incluían una dentadura de perro, lo cual apunta a que ese animal significaba mucho para los dos.

Sobre si se parecían o no a sus dueños y dueñas, tal como se suele comentar a los propietarios y propietarias de perros, es algoque solo podemos suponer. Sin embargo, al menos desde un punto de vista genético, sí que se ha aproximado el perro al ser humano en los últimos milenios. Y es que tanto los perros como los humanos pueden digerir muchísimo mejor los carbohidratos que sus respectivos ancestros. Así, los perros actuales disponen de muchas más copias de genes para la producción de la enzima amilasa, con la cual pueden digerir, entre otros alimentos, el arroz y las patatas. Esas mismas mutaciones tuvieron lugar en el ser humano cuando se impuso la alimentación con carbohidratos. A diferencia de los chimpancés, los neandertales y los denisovanos que solo tenían dos copias del gen de la amilasa, la mayoría de los seres humanos de la actualidad poseen entre diez y veinte copias, y, por consiguiente, un número similar al de sus acompañantes cuadrúpedos. Esta mutación paralela en perros y humanos apunta a que el perro no

es solo un fiel acompañante del ser humano desde hace mucho tiempo, sino también el mejor reciclador de los restos de su comida.

ANTICONCEPCIÓN NATURAL, RITUALES ARCAICOS

Los humanos del Mesolítico tenían muy pocos hijos. Dado que no había ni leche animal ni papilla de cereales, amamantaban a sus retoños hasta casi los seis años. Durante el periodo de lactancia, las mujeres eran infértiles a causa de los mecanismos hormonales que iban aparejados. (Aviso: con la dieta opulenta de la actualidad, para la mayoría de los seres humanos esto carece de validez, así que amamantar no es ningún método anticonceptivo fiable). A su vez, con la llegada de un hermano o hermana, los mayores tenían que estar ya lo bastante desarrollados físicamente para no necesitar el cuidado permanente de los padres, y quizá alcanzaban ese estado a la edad de seis o siete años. Las mujeres de aquel periodo no solían quedarse embarazadas más de cuatro veces, lo cual significaba un promedio estimado de dos criaturas que alcanzaban la edad adulta en cada generación. Eso bastaba para mantener una población estable, pero no para un crecimiento fuerte. En la poco poblada Europa, por consiguiente, no existía apenas competencia por los alimentos y, por tanto, eran escasos también los conflictos entre los grupos de cazadores y recolectores. Había suficiente para todos.

No obstante, hubo excepciones, y estas fueron muy violentas. Especialmente durante la transición al periodo cálido, en el centro y en el norte de Europa había cada vez más territorios en los que los humanos comían más de lo que recolectaban que de lo que cazaban. Esto ocurría sobre todo en las regiones costeras donde pululaban las focas o donde quedaba varada una ballena en la playa cada pocos meses. La dieta podía completarse sin esfuerzo con una vegetación exuberante, en la que no había que dedicar mucho tiempo para encontrar bayas, raíces y setas. Estos paraísos eran codiciados y atraían a los moradores de otras regiones. Los humanos arraigados en ellos los defendían como podían. Puede que los cazadores y recolectores conformen en conjunto la sociedad más pacífica que conozcamos, pero, una vez desatada la violencia, esta era más brutal incluso que la que vendría después. Dan testimonio de ello los hallazgos de huesos en los mencionados paraísos, donde los combatientes se destrozaban el cráneo con enorme violencia. La crueldad servía también como método disuasorio. En Motala, en el centro de

la Suecia meridional, sus moradores empalaban a sus enemigos con lanzas que clavaban en una zona pantanosa, apartada de su propio asentamiento. Incluso conseguían colocar cráneos dentro de otros cráneos, un acto simbólico cuyo significado se nos escapa. A pesar de todo, tales sucesos no tenían nada en común con la competencia sistemática y total por los recursos que se adueñaría del continente con posterioridad.

PIONEROS DE LA INGENIERÍA GENÉTICA

Si en la Europa central reinaba un clima favorable después de la Edad de Hielo, en Oriente Próximo puede decirse que el clima era ideal. El mayor número de precipitaciones y el calor hicieron florecer hace 15 000 años una estepa hasta entonces yerma; entre otras, crecían allí gramíneas de grano grande, las antecesoras de los cereales actuales. Esta proliferación de las plantas supuso un beneficio para los recolectores de una manera directa y a los cazadores de una forma indirecta, ya que había también más caza de la que podían abatir. Las abundantes gacelas que saltaban por la región se convirtieron en la fuente más importante de carne en esa época. En Anatolia y en toda la región al este del Bósforo se vivía en aquellos tiempos tan bien que decayó el instinto migratorio de los cazadores; se fue haciendo cada vez más innecesario seguir los pasos de la oferta alimentaria.

En la Media Luna Fértil, que se extiende desde el valle del río Jordán y el Líbano, pasando por el sudeste de Turquía, el norte de Siria y de Irak, hasta los montes Zagros, en el oeste de Irán, no solo crecía la flora y la fauna, sino también la población humana. Primeramente, los cazadores y recolectores de la región de las actuales Israel y Jordania se volvieron sedentarios; allí surgió, hace más de 14 000 años, la cultura natufiense. Estos cazadores y recolectores habitaban en lugares fijos y, según parece, recolectaban cereales silvestres que procesaban con piedras de moler. Una prueba de la disminución de la importancia del nomadismo se encontró en el sudeste de Anatolia. Hace doce mil años, cazadores y recolectores sedentarios levantaron allí la impresionante construcción de la colina de Göbekli Tepe a partir de gigantescos bloques de piedra adornados con motivos animales. Los arqueólogos le atribuyen un significado religioso para los humanos de aquellos tiempos.

Al igual que en el norte, también en Oriente Próximo siguió al periodo de calor de hace 13 000 años una repentina irrupción del frío acompañada de una disminución de las lluvias. Este cambio climático sometió a los seres humanos a una prueba muy dura, dado que se redujo drásticamente la oferta

alimentaria. Tal vez el hambre incentivó la capacidad inventiva de los humanos, porque entonces comenzaron a desarrollar ideas sobre los frutos de la ingeniería genética. Por aquella época, algunos observadores atentos parecen haber aprendido cómo sacar provecho de la diversidad genética dentro de las especies de cereales. Hace, aproximadamente, 10 500 años, es decir, al final del periodo de enfriamiento, en algunos asentamientos de la Media Luna Fértil había farro, el antecesor del trigo actual y, además, *Hordeum spontaneum*, del que surgió la cebada (*Hordeum vulgare*). Este último cereal no pudo crecer así por las buenas, sino que tuvo que haber sido cultivado de manera intencionada.

Los cereales silvestres tienen la peculiaridad (ventajosa para su propia reproducción, pero no favorable para los seres humanos) de no mantener los granos en las espigas. Al cosecharlos se pierden muchos granos o hay que recolectarlos con cuidado extremo. Este no era el caso en algunas plantas con determinadas mutaciones. Los recolectores parecen haber sembrado los granos de estas para obtener más simientes mutadas y, por consiguiente, producir nuevas variedades. Al reconstruir los genomas de granos secos de cebada procedentes de una cueva a orillas del mar Muerto, pudimos demostrar con colegas de Alemania e Israel que la cebada que se cultiva en la actualidad en Oriente Próximo posee una amplia similitud genética con la que se cultivaba en la región hace 6000 años.

Los habitantes de la Media Luna Fértil parecen haber comenzado hace unos 10 000 años con la cría de ganado. De los asentamientos de ese periodo proceden los primeros indicios de cabras y de ovejas domesticadas y, posteriormente, también de vacas. Estos animales no servían en general para abastecerse de carne, sino sobre todo para obtener leche. Probablemente el consumo de carne disminuyó de forma gradual con el sedentarismo de los cazadores y recolectores, para descender después drásticamente en la época de la agricultura. Obtener carne adicional mediante la caza apenas si resultaba posible, pues el cultivo requería mucha dedicación: era una ocupación a tiempo completo con muchas horas extras. Sin embargo, la demanda de carne podía cubrirse en parte mediante el comercio con los cazadores y recolectores que continuaban viviendo en la región. Así, los hallazgos de esqueletos de cazadores y recolectores en tempranos asentamientos agrícolas parecen indicar que ambas poblaciones llevaban una coexistencia pacífica y que también comerciaban entre ellas.

UN CADÁVER EN EL SÓTANO

Cuando nos referimos a Oriente Próximo no podemos hablar de una revolución neolítica, esto es, de un comienzo repentino de la agricultura, ya que los seres humanos fueron explotando las estrategias agrícolas a lo largo de milenios. Al principio, la agricultura era un complemento del estilo de vida tradicional, un experimento cada vez más fascinante. Estas formas previas todavía no tenían nada que ver con los grandes asentamientos, ni con los campos y la ganadería, tal como serían después típicas en el Neolítico, es decir, en la era de la agricultura, pero tampoco tenían nada que ver con los pequeños grupos de cazadores y recolectores tradicionales. Los análisis de ADN de nuestro instituto en Jena demuestran también que la agricultura se fue desarrollando de forma sucesiva en esa zona y que, por tanto, las técnicas nuevas no fueron introducidas por inmigrantes en la región, tal como sí sucedería después en Europa. Así pues, los cazadores y recolectores de Anatolia no se diferenciaban genéticamente de los agricultores posteriores, sino que pertenecían a la misma población y esta no había inmigrado allí. Sin embargo, resultó sorprendente comprobar que existían diferencias genéticas dentro de los agricultores de la Media Luna Fértil. Los humanos de la zona oriental poseían un ADN diferente de los de la zona occidental. No se trataba tan solo de diferencias graduales: ambas poblaciones eran genéticamente tan distantes como los europeos actuales con respecto a los asiáticos orientales. Todavía no está claro el motivo de esta brecha genética dentro de un espacio cultural que prácticamente se desarrolló de manera uniforme. Tal vez los ancestros de ambas poblaciones habían quedado separados por la Edad de Hielo: las cadenas montañosas de Anatolia podrían haber constituido una barrera infranqueable.

En Europa no hubo la continuidad genética existente en Anatolia entre cazadores y recolectores y posteriores agricultores. Aquí sí que merece el calificativo de «revolución neolítica», ya que se afianzó en el continente de manera efectiva en tan solo unos pocos siglos. Esta expansión está muy bien documentada desde hace más de cien años, pero siempre quedó un asunto abierto, la cuestión de si, conforme a la teoría número uno, la agricultura como técnica civilizadora fue asumida por los seres humanos de la Europa central, es decir, aprendida de los vecinos en Anatolia y luego transmitida lentamente de Oriente a Occidente; o bien, conforme a la teoría número dos, si los anatolios se expandieron de Oriente a Occidente y se trajeron consigo esta técnica nueva.

En la actualidad está probada la hipótesis de la inmigración, y de una manera más inequívoca de lo que cabría esperar. Esto fue posible gracias a

extensas secuenciaciones de genomas de varios cientos de humanos europeos que vivieron en el continente hace entre 8000 y 5000 años. Y también con la ayuda de los huesos de una antigua campesina suaba.

Los restos mortales estaban almacenados en el sótano de mi antiguo instituto en Tubinga y procedían de una mujer que vivió hace 7000 años en la zona de Stuttgart. En el año 2014, un análisis del genoma mostró dónde se hallaban sus raíces genéticas: en Anatolia. Y es que la información de su ADN difería con claridad de la que hallamos en los huesos de cazadores y recolectores que antes del comienzo del Neolítico europeo vivían en los territorios de las actuales Suecia y Luxemburgo. Esa mujer suaba suministró el primer ADN con el que quedó demostrada, sin lugar a dudas, la inmigración anatolia; entretanto las pruebas se cuentan ya por cientos. Demuestran que los anatolios —con un comienzo hace unos 8000 años— se establecieron en toda Europa a través de los Balcanes, por el sur, a lo largo del mar Egeo y del Adriático, y, por el norte, a través del corredor del Danubio, desde las islas británicas hasta la actual Ucrania. Resulta difícil decir si los cazadores y recolectores fueron desplazados o si los recién llegados simplemente los superaron en número. En cualquier caso, los genes de los cazadores y recolectores perdieron importancia de forma drástica en la población total de Europa después de esa inmigración. Los cazadores se retiraron hacia territorios no aptos para la agricultura. Posteriormente experimentarían un regreso, aunque para ello tendrían que pasar todavía dos milenios.

LA PIEL CLARA COMO SUCEDÁNEO DE LA CARNE

Con la revolución neolítica se encontraron frente a frente en Europa dos poblaciones radicalmente diferentes desde un punto de vista genético. Y esas diferencias eran manifiestas, pues los europeos ya arraigados tenían una piel mucho más oscura que los inmigrantes procedentes de Anatolia. Desde nuestra comprensión actual de las cosas no se colige de inmediato por qué unos seres humanos que llegan del sur, mucho más cálido, iban a tener una piel más clara que aquellos que vivían desde hacía tiempo en el norte, más frío. Y ese saber común no está equivocado en lo más mínimo. Las poblaciones tienen, en efecto, una piel tanto más oscura cuanto mayor es su exposición al sol; por debajo del ecuador de África central se encuentran los tipos de piel más oscuros, y en las regiones nórdicas, las pieles más claras. El sentido evolutivo de estas diferencias tiene también una explicación rápida:

cuanto más pronunciada es la pigmentación de la piel, tanto menor es la penetración de los cancerígenos rayos ultravioleta.

La importancia de esta protección puede observarse en una población cuya piel no está adaptada a su entorno: la de los australianos procedentes de Europa. Este país, cuyos habitantes en su mayor parte son inmigrantes de hace menos de cien años con raíces británicas y, por tanto, con la piel muy clara, presenta la tasa de cáncer de piel más elevada del planeta: una tercera parte de los australianos padece alguna vez en su vida esa enfermedad. Desde un punto de vista evolutivo, los seres humanos de piel clara no deberían vivir en las regiones cercanas al ecuador o deberían tomarse al menos algunos miles de años para iniciar la mudanza de modo que su piel pueda adaptarse genéticamente. Y es que la piel puede hacer eso. Así, los habitantes originarios de América cercanos al ecuador tienen la piel más oscura que quienes habitan muy al sur del continente, y ello a pesar de que proceden de la misma población que hace unos 15 000 años emigró a América. Así pues, dentro de 10 000 años los australianos de piel clara podrían tener una piel oscura similar a la de los aborígenes que llegaron mucho antes, siempre y cuando, claro está, no se produzca ninguna inmigración más procedente de Europa, ni exista ninguna crema solar con un factor 50 de protección.

Mientras que cerca del ecuador la piel oscura protege contra las enfermedades, en las latitudes templadas y polares sucede a la inversa. En estas resulta contraproductiva una pigmentación intensa, porque impide la absorción de la luz solar. Y es que la radiación ultravioleta es tanto perjudicial como vital, ya que el cuerpo, gracias a ella, produce vitamina D. Con una elevada intensidad solar esto se consigue sin problemas incluso con una piel oscura; sin embargo, en condiciones menos soleadas la producción es cada vez menor. Incluso la piel más clara sin demasiados pigmentos tiene problemas para producir vitamina D en las regiones con poca luz. Por este motivo, en algunos países se enriquecen con vitamina D algunos alimentos como la leche o se obliga a niños y a niñas a ingerir aceite de hígado de bacalao. En Alemania, el Instituto Robert Koch propone mejorar el suministro de vitamina D entre la población, y advierte a las personas de piel más oscura que están particularmente amenazadas por esta carencia.

Ahora bien, todo esto no aclara por qué los centroeuropeos de hace 8000 años tenían la piel más oscura que los inmigrantes procedentes del sur. La respuesta se halla en la dieta de los agricultores de Oriente Próximo, que redujeron drásticamente su consumo de carne, tal como muestran los análisis de isótopos de sus huesos. Al contrario de lo que ocurría con los cazadores y

recolectores, ellos apenas tomaban la vitamina D del pescado o de la carne, pues tenían una dieta casi vegetariana complementada con productos lácteos. El color de la piel de estos primitivos agricultores entró en un proceso de «presión selectiva»: solo aquellos con la piel más clara podían producir la vital vitamina D en cantidades suficientes. Para ello fueron necesarias varias mutaciones que volvieron la piel más clara. Los anatolios de piel más clara en los que apareció esta mutación estaban más sanos, vivían más tiempo y tenían más hijos. El color de su piel se impuso a la vez que el establecimiento de la agricultura y de una dieta pobre en carne. Este desarrollo evolutivo prosiguió durante mucho tiempo en toda Europa. Cuanta mayor era la latitud norte, tanto más clara se volvía la piel. Por el contrario, entre los cazadores y recolectores no se produjo esta presión evolutiva, pues no necesitaban ninguna piel más clara para el suministro de vitamina D, porque ya la ingerían en cantidades suficientes con su dieta de pescado y carne.

El color de la piel, en particular la de los actuales europeos del norte, es, por tanto, consecuencia de toda una serie de mutaciones genéticas. Una forma extrema de estas mutaciones asegura, por ejemplo, que sus portadores almacenen en la piel muy poca melanina, es decir, el colorante propio de la piel. En la actualidad, esta mutación aparece con frecuencia en Gran Bretaña y en Irlanda; la piel de estas personas, en su mayoría pelirrojas, no puede apenas broncearse, sino solo quemarse, lo cual explica la llamativa tasa de cáncer de piel de los australianos de raíz británica. Por cierto, la mutación que procura una menor producción de melanina es responsable también de una modificación en la sensación del frío y del dolor. Durante mucho tiempo se supuso que el origen de esta modificación genética se hallaba en los neandertales, a quienes se atribuía una elevada resistencia al frío. Sin embargo, esto no ha podido ser probado genéticamente. La mutación correspondiente del «receptor de melanocortinas» no ha sido hallada hasta la fecha en los genomas de los neandertales.

Los cazadores y recolectores de Europa no solo tenían la piel oscura; también tenían los ojos azules. Al contrario que el color de la piel, el de los ojos sí se mantuvo incluso después de la inmigración procedente de Anatolia. El porqué sigue sin estar claro. Y es que el estadio primigenio del iris es oscuro. Todo lo que vuelve más claros los ojos está basado en mutaciones que procuran menos colorante en el iris. En realidad, no resulta muy útil que digamos una mutación de este tipo, ya que los ojos claros no conducen a ninguna ventaja reconocible, mientras que los oscuros parecen ser menos sensibles a la luz. Los ojos azules son muy raros en África porque esta

mutación probablemente fue seleccionada de forma negativa a causa de la intensa radiación solar. Sin embargo, tampoco esto despejaría las dudas sobre por qué los ojos claros están en la actualidad mucho más extendidos en Europa de lo que sería explicable por el azar. Posiblemente, y este es el planteamiento más plausible, los humanos de ojos azules tenían mejores oportunidades para reproducirse. Ese rasgo podría haber valido solo como una marca de belleza. En cualquier caso, las secuenciaciones del genoma muestran un descenso de la población con ojos azules después de la inmigración de los agricultores anatolios, y después un nuevo ascenso.

Digamos de paso que tener los ojos azules no significa necesariamente que sean del azul de Terence Hill. Están menos pigmentados, en ellos entran todos los matices que se hallan en el espectro del gris azulado hasta el verde, y los ojos verdes contienen sencillamente una mezcla de pigmentos azules y castaños. Así pues, esta misma mutación puede producir colores de ojos muy diferentes. También en el color de la piel hay una gama casi infinita de tonalidades entre lo claro y lo oscuro. En verdad no encontramos en los genes de los cazadores y recolectores de la Europa central las mutaciones responsables de la piel más clara de los agricultores de Oriente Próximo, pero no deberíamos sobrestimar la enorme cantidad de información de ese descubrimiento. Esto fue justo lo que sucedió una y otra vez en los últimos años, cuando, por ejemplo, se descodificó el ADN de «británicos primigenios» y se señaló que su piel era tan oscura como la de los africanos occidentales de hoy. Los medios de comunicación tomaron agradecidos esas informaciones y las generalizaron, de una manera ilícita con frecuencia. Simplemente no sabemos, en realidad, lo oscura que era la piel de los antiguos cazadores y recolectores. Además, la transmisión por herencia del color de la piel es muy compleja y no puede explicarse solo con mutaciones. Por tanto, debe permanecer abierta la cuestión de si los europeos primitivos se parecían más a los seres humanos actuales del África central o tal vez más a los del mundo árabe. Lo único seguro es que no llevaban en su interior ninguna mutación conocida por nosotros que cause una piel clara, razón por la cual es altamente probable que tuvieran una piel más oscura que los europeos actuales.

Si miramos aún más atrás en la historia de la humanidad, nos topamos con que la piel oscura fue en un principio una adaptación. Nuestro primo, el chimpancé, tiene la piel blanca por debajo de su pelaje negro. Cuando el ser humano se deshizo de su pelaje, parece que el color de su piel se adaptó para proteger del sol al cuerpo lampiño. Ya solo por este motivo es una gran

estupidez tomar el color de la piel como justificación de cualquier jerarquía evolutiva, a no ser que los de piel clara pretendan reclamar para sí una conexión genética especial con los chimpancés.

La inquebrantable ruta balcánica

Una de las primeras regiones de Europa a la que los inmigrantes anatolios llevaron la cultura neolítica fue, por razones obvias, los Balcanes. Los campesinos primitivos que se establecieron aquí fundaron la cultura de Starcevo, que se extendía a lo largo del Danubio, aproximadamente, por el territorio del sur de Hungría, por Serbia, y llegaba hasta la parte occidental de Rumanía. Se fundaron asentamientos con estructuras completamente nuevas, con alojamientos muy sencillos construidos a partir de arcilla, madera y paja, materiales de los que disponían en abundancia. Estas casas no eran muy resistentes a la intemperie y regularmente se desmoronaban; se construían otras encima, así que con el transcurso de los milenios se levantaron pequeñas colinas de esta manera. En la actualidad existen sobre todo en el sudeste europeo y en Oriente Próximo abundantes restos de estos asentamiento «tell», denominados así por la palabra árabe para «montículo». Esta similitud arqueológica subraya también la función de puente de los Balcanes, a través de los cuales Oriente Próximo y Europa interaccionaron a lo largo de milenios. Si durante la Edad de Hielo fueron los habitantes de los Balcanes quienes llevaron su ADN a Anatolia, esos genes regresaron diez mil años después, con el Neolítico, a la Europa central. Esta interacción a través de la ruta de los Balcanes relaciona genéticamente a los habitantes de Europa y de Anatolia hasta la actualidad.

Además de los conocimientos sobre agricultura y ganadería, los anatolios trajeron a los europeos la fabricación de la cerámica. A partir de la arcilla y utilizando el fuego, los neolíticos fabricaban cuencos, botellas y recipientes de almacenaje en grandes cantidades. Quienquiera que haya intentado realizar una comida aprovechable y comer con dignidad en una vivienda nueva sin vajilla, sabe qué papel pudo haber desempeñado la cerámica para los humanos de aquel entonces. Mil años después, este nuevo material de trabajo se había difundido por toda Europa, y ha servido a los arqueólogos para dar nombre a decenas de culturas por la forma que sus miembros daban a sus respectivas cerámicas. La cultura de la cerámica de bandas, cuyas vasijas se caracterizan por estar decoradas con bandas angulosas, se extendió por toda la Europa central al cabo de unos pocos siglos: por los territorios actuales de

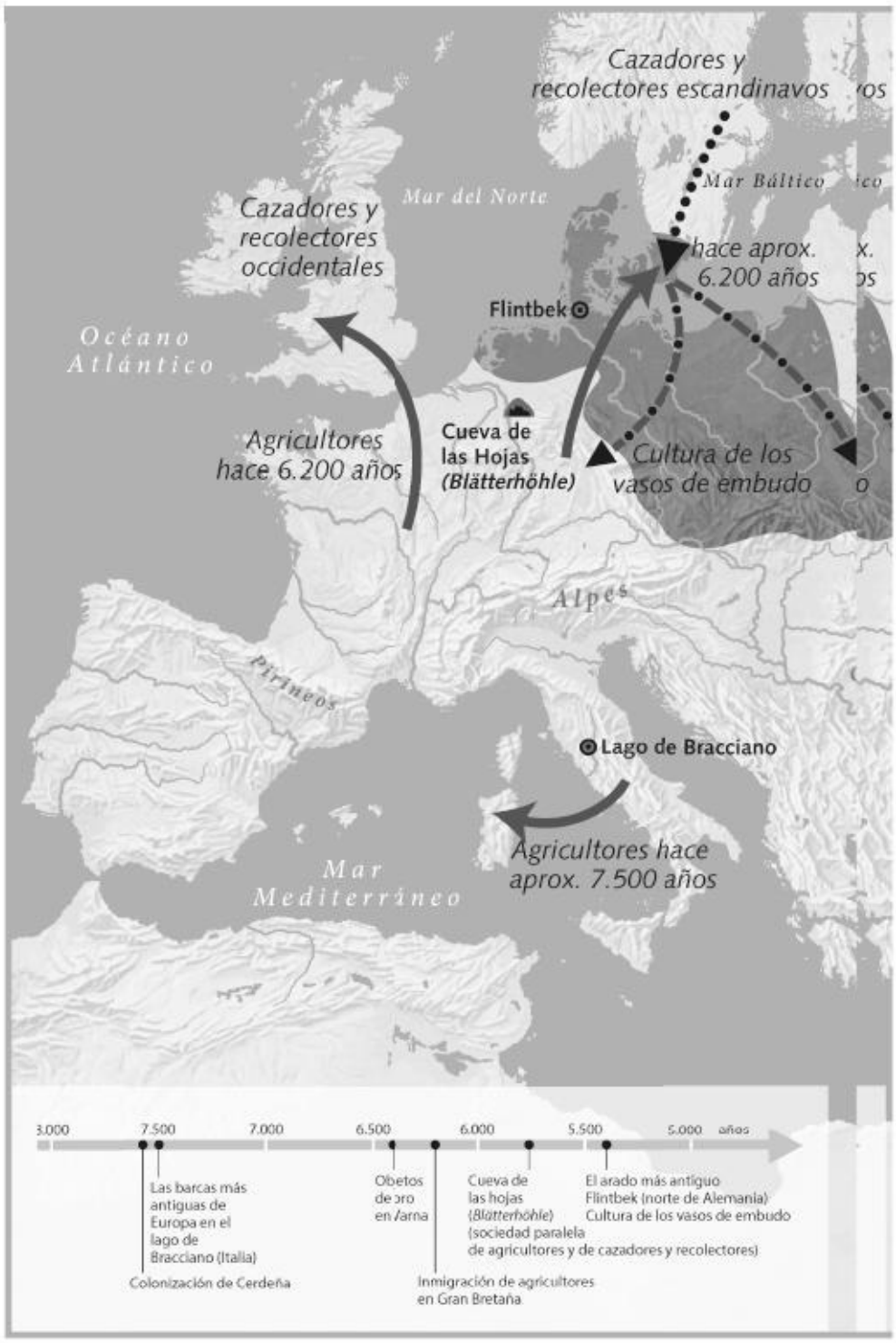
Francia, Alemania, Polonia, Austria y Hungría; posteriormente hasta Ucrania. A lo largo del Adriático, del Mediterráneo y en toda la actual Italia dominaba, en cambio, la cerámica cardial, decorada por lo general con impresiones de conchas.

Las ingentes cantidades de artefactos de cerámica de esa época que los arqueólogos llevan desenterrando desde hace más de cien años en toda Europa son entretanto inabarcables. Constituyen testimonios del profundo cambio cultural del Neolítico. Tanto la cerámica cardial como la cerámica de bandas surgieron de la inmigración anatolia; sin embargo, se dividieron en dos corrientes en los Balcanes. Genéticamente, los seres humanos de ambas culturas apenas se diferencian, como en la actualidad los irlandeses y los ingleses. La marcha triunfal de los agricultores, superiores desde un punto de vista económico, hace 8000 años está probada inequívocamente por medio de los cambios en el ADN de aquella época. Sin embargo, esa marcha triunfal no fue universal. Mientras que en el periodo de hace 7500 años apenas puede encontrarse ADN de cazadores en la Europa central, en las poblaciones actuales está tan fuertemente representado como en aquellos primitivos agricultores. Los antiguos cazadores y recolectores no desaparecieron con la llegada de los anatolios, sino que solo se retiraron. La coexistencia entre cazadores y agricultores aún duraría 2000 años, hasta que la agricultura conquistó de forma definitiva toda Europa.

4

Sociedades paralelas

Los anatolios trabajaban todo el día. Los cazadores buscan nichos. Los nuevos traen la violencia. Los sardos son los agricultores originarios. Aprender de los inmigrantes significa aprender a triunfar. Las condiciones higiénicas se vuelven insostenibles.


Cazadores y recolectores escandinavos
Mar Báltico
Mar del Norte
Cazadores y recolectores occidentales
hace aprox. 6.200 años
Flintbek
Océano Atlántico
Agricultores hace 6.200 años
Cueva de las Hojas (Blätterhöhle)
Cultura de los vasos de embudo
Alpes
Pirineos
Lago de Bracciano
Agricultores hace aprox. 7.500 años
Mar Mediterráneo
3.000
7.500
7.000
6.500
6.000
5.500
5.000 años
Las barcas más antiguas de Europa en el lago de Bracciano (Italia)
Colonización de Cerdeña
Objetos de oro en Varna
Inmigración de agricultores en Gran Bretaña
Cueva de las hojas (Blätterhöhle) (sociedad paralela de agricultores y de cazadores y recolectores)
El arado más antiguo Flintbek (norte de Alemania) Cultura de los vasos de embudo

Sociedades paralelas
Cárpatos
Mar Negro
Cáucaso
Mar Caspio
Montes Tauro
Montes Zagros
Mar Mediterráneo
0
300 km

Los desplazamientos genéticos tras la inmigración de los agricultores permiten deducir una clara superioridad numérica frente a los cazadores y recolectores que ya vivían aquí. En los siguientes siglos dominó en Europa el ADN de Anatolia. Esa superioridad numérica de los recién llegados se intensificaría con el tiempo, ya que al fin y al cabo tenían una mayor cantidad de hijos como consecuencia de su forma de vida. Dado que el ADN de los cazadores y recolectores volvió a ganar terreno posteriormente, es obvio que no fueron desbancados por completo, pero sin duda sí tuvieron que ceder al principio. A los antiguos moradores solo les quedaron aquellos territorios en los que no tenían nada que hacer los agricultores, es decir, las sierras de mediana altura con pocos pastos y escasas superficies para la agricultura o el frío norte de Europa. Había suficientes zonas donde apartarse porque las condiciones ideales para la agricultura no eran la norma general a comienzos del Neolítico en nuestro continente.

Los cazadores y recolectores, por un lado, y los agricultores, por otro, debieron de llegar a algún tipo de acuerdo. Vivían en sociedades paralelas, ambas tenían conocimiento la una de la otra, pero solo se producían tímidos contactos entre ellas. Uno de esos contactos queda testimoniado en la cueva de las Hojas (*Blätterhöhle*), en el actual estado federado de Renania del Norte-Westfalia. Hace entre 6000 y 5000 años, es decir, mucho tiempo después del comienzo del Neolítico, tanto los cazadores y recolectores como los agricultores enterraban a sus muertos en esa cueva, tal como muestra un análisis del ADN de los huesos encontrados en ella. Ambas poblaciones tuvieron que haber sido vecinas y haber llegado a un acuerdo para utilizar conjuntamente un mismo cementerio. Un análisis de isótopos de los huesos demostró que ambos grupos se alimentaban conforme a su propia tradición, y ello a pesar de que vivían sin duda en las mismas condiciones ambientales. En los cazadores y recolectores dominaban el pescado y la carne, y seguramente, como complemento, una buena porción de gusanos e insectos. En cambio, los agricultores apostaban por una alimentación rica en vegetales. Desde luego habían domesticado con éxito vacas, ovejas y cabras, pero vivían de su leche, solo las sacrificaban en raras ocasiones. No eran los mejores requisitos que digamos para enviarse invitaciones mutuas para almorzar. No obstante, parece que de vez en cuando se encendía la chispa entre los pertenecientes a un grupo y otro, ya que en la cueva se encontraron también restos mortales de

descendientes comunes. Resulta obvio que los cazadores varones eran irremediablemente más flojos en el cortejo, puesto que en los huesos de los descendientes comunes no había ADN mitocondrial de los agricultores, pero sí de cazadores y recolectores. Dado que el ADNmt es transmitido por la madre, tienen que haberse juntado por fuerza recolectoras con agricultores, pero no campesinas con cazadores. Esto encaja también con las observaciones que se han realizado en poblaciones actuales de cazadores y recolectores que viven en estrecha vecindad con agricultores, por ejemplo, en África. También allí son pocas las campesinas que se juntan con cazadores, pero sí es significativa la relación inversa, campesinos con cazadoras.

Estrés y alimentación no saludable

Los amigos de las veladas con barbacoas y abundantes carnes comprenderán seguramente por qué los cazadores y recolectores de entonces apenas podían compartir nada del estilo de vida que se trajeron sus nuevos vecinos, que eran principalmente vegetarianos. Sorprende por tanto que la agricultura tardara 2000 años en extenderse por toda Europa, puesto que no en vano esta ofrecía las mejores oportunidades de crecimiento. Sin embargo, los cazadores y recolectores tenían también muy buenos motivos para desconfiar del nuevo modelo de vida o por lo menos para no adoptarlo a la ligera. Puede que los agricultores tuvieran más hijos, pero el precio a cambio era también muy evidente: nunca tenían tiempo libre, así de simple.

Los agricultores solían dedicar todo el día a trabajar la tierra para llenar sus despensas; al final de la jornada tenían una cantidad apreciable de cereales, verduras y tal vez un vaso de leche o un pedazo de queso. El trabajo de los cazadores y recolectores no era tampoco ningún placer que digamos, pero lo liquidaban con celeridad. Y mientras que los nuevos andaban constantemente temiendo por las malas cosechas, los cazadores sabían cómo conseguir alimentos de la naturaleza incluso en condiciones adversas. Del mismo modo, su aparato digestivo estaba adaptado a la alimentación con un alto contenido de carne y, por ello, incluso en nuestro tiempo, muchas personas tienen que lidiar con el invento del cultivo de cereales y de la producción de lácteos, tal como nos lo demuestra un vistazo en el supermercado a los estantes de alimentos exentos de gluten y de lactosa. En los huesos de muchos agricultores primitivos se encuentran signos de una mineralización deficiente; probablemente en ocasiones tenían un aspecto enfermizo a los ojos de los sanos y fuertes cazadores.

No todo era negativo en la agricultura, por supuesto. Pese a lo duras que eran las labores, pese a que la alimentación no era la más digestible y pese a que su modo de vida no era el más saludable, los neolíticos inventaron, sin embargo, la gran familia, lo cual elevó las posibilidades de supervivencia a largo plazo de sus propios descendientes y, por consiguiente, de toda la población. Los agricultores contemplarían seguramente la sencilla satisfacción de los cazadores y recolectores con la misma sorpresa que aquellos al contemplarlos a ellos. Su vida, caracterizada por las duras labores, pronto dejó de tener alternativa. Una vez que comenzaron a producir más alimentos con los que poder sustentar a sus retoños, se instalaron de este modo, con ambas piernas y con mucho aplomo, en la ruedecilla del hámster que la humanidad ya no podría abandonar en lo sucesivo, y sobre la que se ocupan en la actualidad bibliotecas enteras con guías y consejos para trabajadores estresados. Y es que una mayor alimentación no significaba solamente más hijos e hijas, sino también que más hijos e hijas querrían más alimentos que antes había que cultivar y cosechar.

Ya por aquel entonces debía de ser válido lo que sigue estando en vigor en la actualidad: el ser humano está más dispuesto a doblar su carga de trabajo que a reducir su nivel de vida. Y este último era sin duda más elevado en los agricultores que en los cazadores y recolectores, si tomamos como baremo los bienes materiales. Los agricultores poseían campos, vivían en casas, tenían ganado. Una vez que entraron en la senda del crecimiento, solo podían salirse de ella poniendo en juego la vida de sus propios hijos e hijas. Además, al cabo de unas pocas generaciones de práctica agrícola ya no debía de ser posible regresar sencillamente a la caza, pues esas habilidades había que aprenderlas desde una edad temprana. Y, por último, unirse a los cazadores y recolectores, a quienes consideraban inferiores en la comunidad de agricultores, habría equivalido a una autoexclusión a los ojos de la mayoría de sus miembros.

Probablemente era muy raro que ambas poblaciones vivieran en vecindad directa, como en el caso del territorio cercano a la cueva de las Hojas. Los agricultores se instalaban allí donde las condiciones eran más propicias. No entraban en sus búsquedas las montañas, los bosques, ni siquiera los terrenos escarpados; necesitaban sobre todo suelos buenos, aquellos que incluso al cabo de varios años seguían dando algo de rendimiento. De ahí que estos campesinos se asentaran principalmente en los suelos fértiles de loess, un remanente de los glaciares de la Edad de Hielo. Una de las regiones prósperas y en auge del Neolítico fue la llanura de Magdeburgo; sus suelos de tierra negra siguen contándose en la actualidad entre los más fértiles de Europa.

Pronto los cazadores y recolectores no tuvieron nada que decir en esa región, al igual que sucedió en todas las zonas con buenos suelos. Para los primeros agricultores, Europa era un campo libre, cuya tajada hubo que asegurar enseguida. La época de los pioneros no duró mucho tiempo, pues enseguida comenzó a llegar cada vez más gente a la búsqueda de las mejores tierras. Europa resultó arrollada; los que ya residían en ella se fortificaron.

Disposición creciente hacia el uso de la violencia en espacios reducidos

Si bien los primeros asentamientos neolíticos se hallaban todavía desprotegidos, las generaciones siguientes comenzaron a resguardar sus propiedades frente a extraños mediante fortificaciones. Las luchas por el reparto parecen haber comenzado en fecha temprana, pues ya en el periodo de la agricultura incipiente se tiene conocimiento de la existencia de fosas comunes por todas partes en la Europa central, algo que apunta a la existencia de conflictos bélicos. En la localidad de Talheim, cercana a Heilbronn, se encontró una fosa en la que fueron sepultadas más de treinta personas hace unos 7000 años. Sus adversarios acabaron con ellas usando hachas de piedra y objetos contundentes. En la localidad austriaca de Asparn an der Zaya, ejecutaron en el mismo periodo a cerca de doscientos individuos o los masacraron mientras huían. En esas matanzas, que suelen interpretarse como luchas debidas a las escasez de tierras para la agricultura, por lo visto no se libraba nadie. En las fosas se encuentran tanto niños pequeños, adolescentes, ancianos y mujeres como hombres en edad de combatir. Por lo visto, al comienzo del Neolítico los seres humanos echaban mano de los aperos de labranza y de caza como instrumentos para matar. Se empleaban arcos y flechas y, tanto en Talheim como en Asparn, destrozaban los cráneos de las víctimas con hachas y azuelas, una herramienta para trabajar la madera. Sin embargo, tan solo unos pocos siglos después se encuentran armas perfeccionadas como ofrendas funerarias en las tumbas de los agricultores, adornadas con esmero y fabricadas inequívocamente para matar. Con el comienzo del Neolítico, los conflictos bélicos se convirtieron en un componente fijo de la civilización, aunque todavía no existían ejércitos ni campañas militares organizadas.

En esos conflictos luchaban agricultores contra agricultores. Sin embargo, las construcciones defensivas de los asentamientos agrícolas podrían haberse levantado también contra los cazadores y recolectores, quienes, de lo contrario, habrían podido entender los campos y los pastos como una

invitación abierta al autoservicio. Resulta dudoso si los cazadores y recolectores, por su parte, se defendían de los agricultores con medios bélicos. ¿Por qué razón habrían arriesgado su vida por un pedazo de tierra si vivían como nómadas? Ya solo la mera superioridad numérica de esos potenciales adversarios les habría hecho comprender que carecían de posibilidad alguna de éxito. Apenas existió en ambos grupos una relación entre iguales; en todo caso se toleraba a los cazadores y recolectores siempre y cuando no interfirieran en los planes de los recién llegados. Así pues, ambos grupos no estaban exentos de conflictos, pero tampoco se hallaban en un estado permanente de guerra. Su relación estaba caracterizada más bien por el abrumador dominio de los agricultores y una desconfianza mutua.

Tractores suecos

Sin embargo, no en todas partes esa relación de fuerzas entre los dos grupos estaba tan clara como en los ricos suelos fértiles de la Europa central. En el sur de Escandinavia y en las costas del mar del Norte y del mar Báltico situadas más al sur, apenas había tierras aprovechables para los agricultores, aparte de que existía una tupida vegetación. En cambio, los cazadores y recolectores locales disfrutaban de ricos caladeros de pesca favorecidos por la corriente cálida del Golfo, que atraía en masa a focas y a ballenas. Por consiguiente, tenían escasos motivos para tomar como referencia la vida de los campesinos, quienes seguían manteniendo con determinación sus posiciones. También en Escandinavia existían las sociedades paralelas, solo que de otro signo. Al igual que en otros lugares de Europa, ambas poblaciones convivieron al principio y posteriormente se mezclaron. Solo que, en Escandinavia, los cazadores y recolectores pudieron mantenerse mejor que en el resto de Europa; su ADN está en la actualidad más presente en el norte que en cualquier otra parte del continente. De esta interacción con los agricultores surgió hace unos 6200 años, es decir, mucho tiempo después del comienzo del Neolítico en la Europa central, la denominada «cultura de los vasos de embudo», llamada así por los típicos vasos de cerámica que tienen una base estrecha similar a un embudo.

Los cazadores y recolectores arraigados en Escandinavia no fueron arrinconados por los recién llegados, lo cual no se debió, sin embargo, a ninguna resistencia particular frente a las influencias foráneas, sino a todo lo contrario, a una apertura hacia las técnicas importadas. Su buena disposición frente a la innovación hizo que la cultura de los vasos de embudo se

convirtiera durante los siguientes siglos en una de las más exitosas del Neolítico. Así, los primitivos escandinavos estaban familiarizados ya con la rueda, que, combinada con la fuerza de tracción de los bueyes, inauguraba unas posibilidades completamente nuevas para el transporte y para la agricultura. El carril más antiguo conocido hasta la fecha se encuentra en la localidad de Flintbek, en el estado federado de Schleswig-Holstein, tiene una antigüedad de 5400 años y fue descubierto bajo una tumba megalítica. Uno de los mayores inventos que los escandinavos aportaron por aquel entonces a Europa fue la forma primigenia de un tractor: uncían dos bueyes a un arado con el que podían hacer surcos profundos en la tierra. Por supuesto, no hay ningún hallazgo arqueológico de esos aparatos, pero sí las huellas de arados de esa época en los suelos arcillosos escandinavos que en la actualidad están cubiertos por una capa de tierra de solo veinte centímetros de altura.

Con los bueyes dóciles por la yunta —cuando uno de los dos tiraba con excesiva rapidez causaba en ambos enormes dolores y conducía en caso extremo a un desnucamiento— no solo podían ararse extensiones más grandes de terreno, sino que pudieron incluso labrarse por primera vez numerosas superficies difíciles para la agricultura. Y es que no cabe duda de que podían talar los incontables árboles presentes en Escandinavia, pero con la sola fuerza humana resultaba imposible extraer sus raíces de la tierra. Con la tracción esto cambió y en adelante los árboles ya no constituirían ningún impedimento para cultivar un campo. Ahora, con la yunta de bueyes, podían retirarse incluso los bloques erráticos que los glaciares de la Edad de Hielo habían dejado sobre todo en el norte de Europa. Algunos arqueólogos ven en este invento un impulso para las muchas construcciones monumentales de piedra que surgieron en esa época por toda Europa, como, por ejemplo, las tumbas megalíticas, también conocidas como megalitos. Esta hipótesis señala que a algún lugar tenían que ir a parar las rocas extraídas de los nuevos terrenos cultivables.

Tras el avance de la agricultura desde Anatolia hacia el norte, la cultura de los vasos de embudo provocó hace unos 6500 años un contramovimiento que no solo aportó una técnica mejorada, sino que también trajo de vuelta al sur un antiguo ADN conocido. Hace 5400 años, los escandinavos avanzaron por el este hasta la actual Bielorrusia y por el oeste hasta el actual estado federado de Sajonia-Anhalt con sus buenas tierras fértiles. Los agricultores establecidos allí tuvieron que replegarse cada vez más. Al cabo de varios ataques, el área de la denominada cultura de Salzmünde quedó reducida a un

pequeño territorio que abarcaba, aproximadamente, la localidad actual de Halle. Esta cultura acabó desapareciendo hace poco más de 5000 años.

En general, la fase de expansión desde el norte vino acompañada de un declive de las culturas centroeuropeas. No queda claro aquí qué es causa y qué es efecto: si los miembros de la cultura de los vasos de embudo avanzaron por un territorio que se hallaba de por sí en caída libre o si fue conquistada con extrema dureza. Sin embargo, algo sí llama la atención para la época de hace entre 5500 y 5000 años: de entonces no existen restos mortales en la mayoría de las regiones centroeuropeas, sino tan solo artefactos y rastros de asentamientos. Esto podría significar que los habitantes de ese periodo incineraban a sus muertos, una costumbre funeraria que, en cualquier caso, no fue importada desde el norte. Ahora bien, las (solo supuestas) cremaciones podrían ser testimonios de una catástrofe que, posteriormente, allanó el camino para una nueva gran oleada migratoria hacia Europa. Pero de esto hablaremos más adelante.

«Fósiles genéticos» en Cerdeña

En el ADN de los europeos, sobre todo del norte y de la Europa central, ha quedado plasmado ese periodo de la cultura de los vasos de embudo hasta la actualidad. En los escandinavos, el componente genético de los cazadores y recolectores es casi tan grande como el de los agricultores anatolios; en Lituania, es decir, en la región oriental de la cultura de los vasos de embudo, incluso lo supera. En el sur de Europa, donde primeramente llegó la inmigración anatolia y donde no penetró el contramovimiento escandinavo, predomina en cambio el elemento anatolio. Los actuales franceses del sur y los españoles del norte apenas poseen ADN de cazadores y recolectores y aún menos las gentes de la Toscana. El lugar en el que aparecen las huellas genéticas más claras de los primeros agricultores es en la actual Cerdeña, donde permanecieron casi sin mezcla; así pues, los sardos son «fósiles genéticos». Esto es algo único, pues ni siquiera en Anatolia y en Oriente Próximo existe ninguna población que haya permanecido casi inalterada desde el Neolítico. Antes de esa época, en Cerdeña no vivían cazadores y recolectores, o solo en un número muy escaso, y al parecer no tuvieron lugar en ella las grandes inmigraciones posteriores.

El asentamiento neolítico de Cerdeña demuestra que los seres humanos, hace 8000 años, eran capaces de construir embarcaciones o, como mínimo, muy buenas balsas. No valía con transportar a la isla a toda la familia, sino

que para el viaje se llevaban todo el equipamiento del Neolítico, y esto incluía al menos dos vacas. El hallazgo arqueológico más antiguo de una embarcación procede del lago Bracciano, cercano a Roma, construida hace 7700 años. En esa fase no solo se colonizó Cerdeña, sino también la vecina Córcega. Y gracias a la navegación, los agricultores, hace unos 6200 años, alcanzaron finalmente la actual Gran Bretaña. Salvo las excepciones del Báltico y del norte de Escandinavia, donde los humanos vivían hasta hace 5000 años en los bosques no aptos para la agricultura en calidad de cazadores y recolectores —en parte siguen haciéndolo hoy—, la agricultura se impuso en toda Europa, como muy tarde, con la conquista de las tierras al otro lado del canal de la Mancha.

Comienza la era de las enfermedades infecciosas

En el Neolítico no solo creció el número de seres humanos que vivían juntos. Los animales se convirtieron a su vez en un componente natural del hogar campesino, y todos convivían bajo el mismo techo. Había muy buenas razones para ello. Por aquel tiempo, Europa no solo estaba poblada por lobos, sino también por cazadores humanos que no se habrían limitado solo a acariciar a una oveja indefensa. Había, asimismo, que proteger a los animales frente a los ataques de otros campesinos. Además, los animales irradian en invierno un valioso calor corporal.

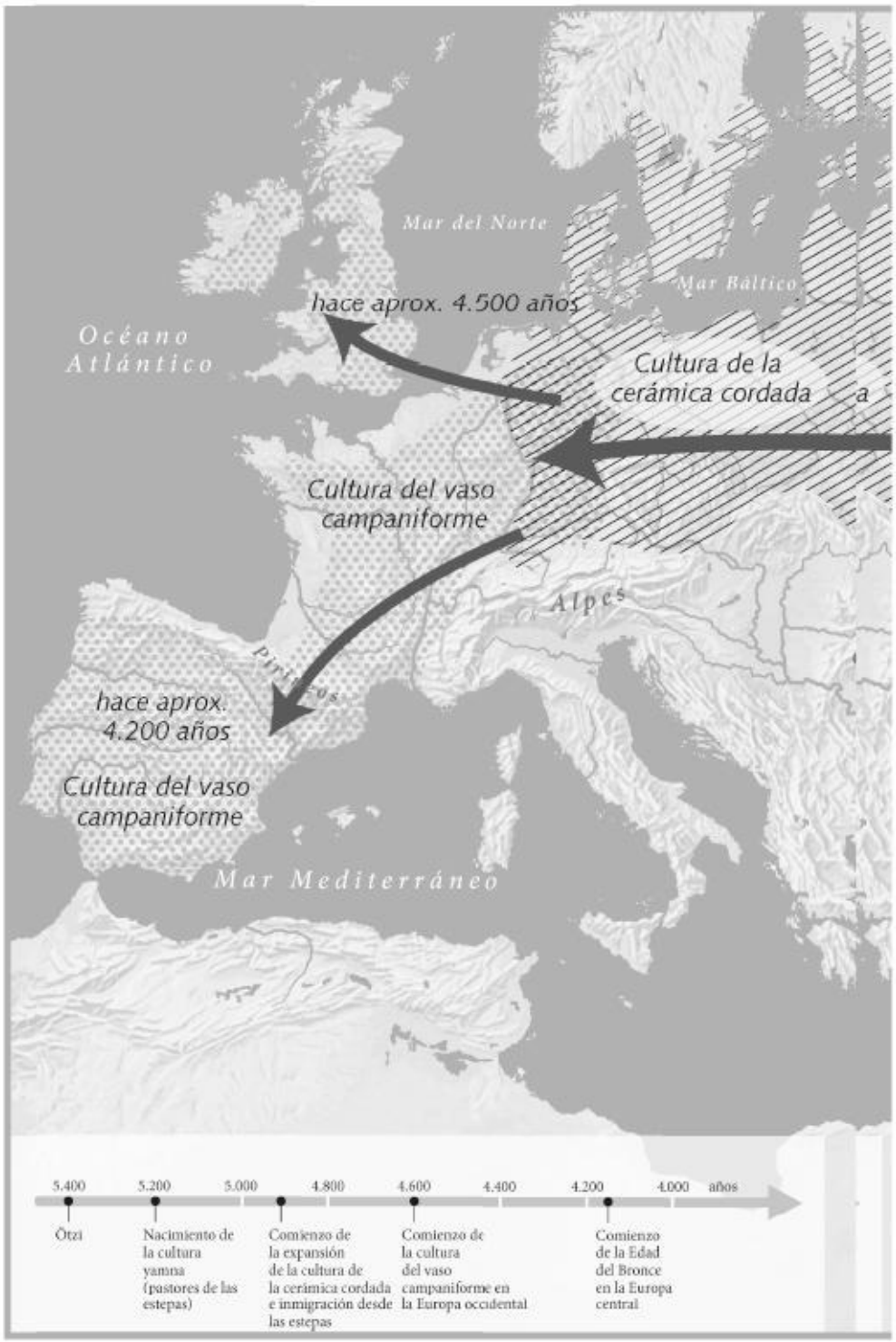
La higiene era todavía desconocida por aquel entonces. La tenencia de animales domésticos debía de ser el menor de los problemas, a pesar de que las enfermedades provocadas por gusanos estaban desempeñando un papel cada vez más importante a medida que más animales servían como fuentes de carne. Ahora bien, en los asentamientos se almacenaban provisiones de alimentos, sobre todo cereales y productos lácteos que atraían a los roedores y a sus parásitos, es decir, pulgas y piojos. Las bacterias y los virus tenían todo tipo de facilidades en los asentamientos, y se volvió cada vez más frecuente la transmisión de enfermedades de los animales a los seres humanos. Mientras que los cazadores y recolectores cambiaban regularmente su lugar de residencia, los agricultores vivían entre los excrementos de animales y de humanos, por lo que el riesgo de infección aumentaba. También se vio favorecida la transmisión de persona a persona por la estrecha coexistencia, en la que seguramente se prestaba poca atención a la privacidad. El ser humano subyugó en el Neolítico a plantas y animales, pero se crearon así un

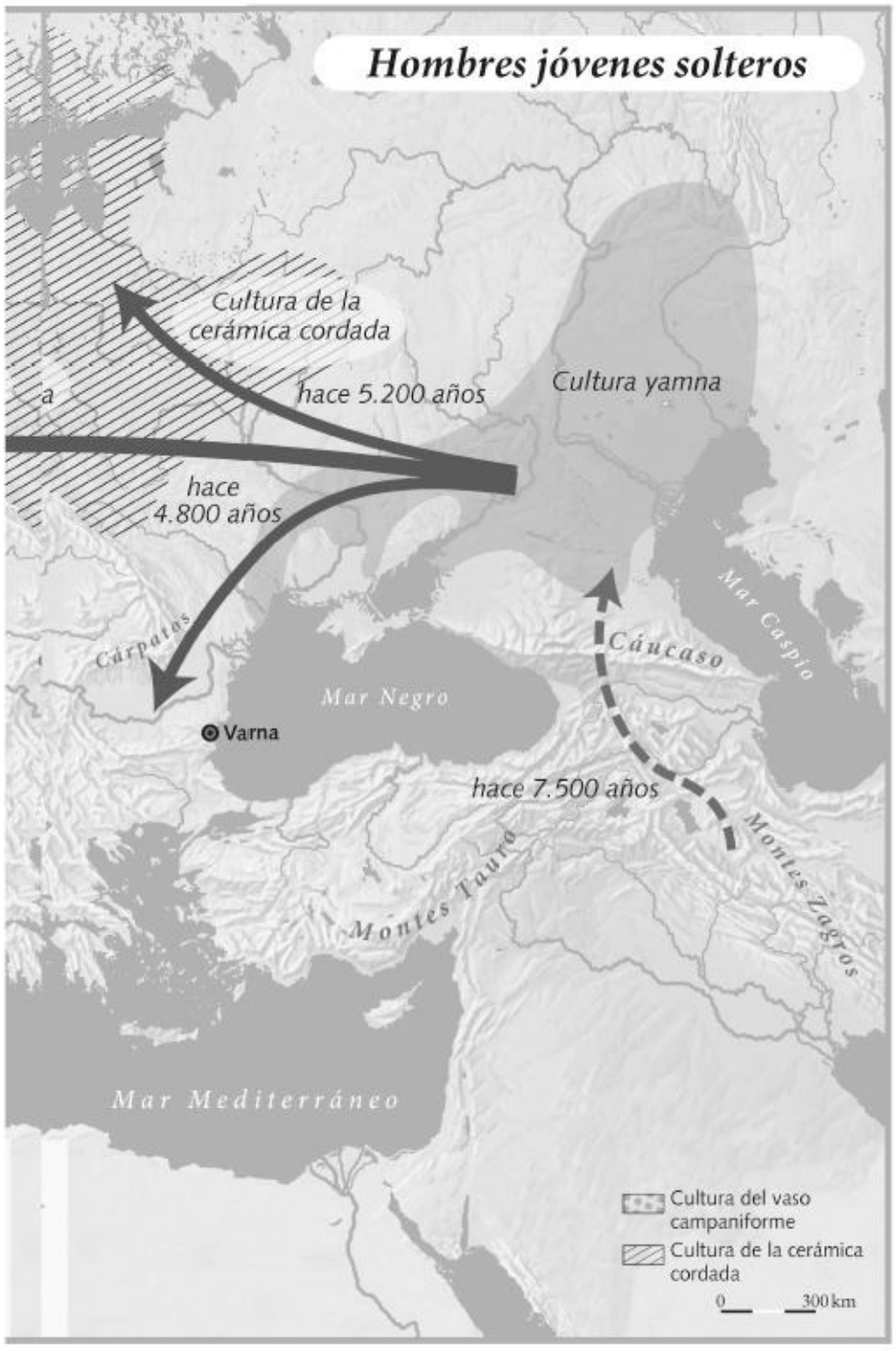
nuevo adversario, las enfermedades infecciosas. En adelante, estas enfermedades se cobrarían su terrible tributo una y otra vez.

5

Hombres jóvenes solteros

¿Adónde se fueron todos los indígenas? El occidente se desmorona; de Oriente vienen los nuevos. Son fuertes y tienen la potencia de los caballos. ¡Bebed más leche!


Mar del Norte
Mar Báltico
Océano Atlántico
hace aprox. 4.500 años
Cultura de la cerámica cordada
Cultura del vaso campaniforme
Alpes
Pirineos
hace aprox. 4.200 años
Cultura del vaso campaniforme
Mar Mediterráneo
5.400
5.200
5.000
4.800
4.600
4.400
4.200
4.000
años
Ötzi
Nacimiento de la cultura yamna (pastores de las estepas)
Comienzo de la expansión de la cultura de la cerámica cordada e inmigración desde las estepas
Comienzo de la cultura del vaso campaniforme en la Europa occidental
Comienzo de la Edad del Bronce en la Europa central


Hombres jóvenes solteros
Cultura de la cerámica cordada
hace 5.200 años
Cultura yamna
hace 4.800 años
Cárpatos
Mar Negro
Varna
Cáucaso
Mar Caspio
hace 7.500 años
Montes Tauro
Montes Zagros
Mar Mediterráneo
Cultura del vaso campaniforme
Cultura de la cerámica cordada
0
300 km

INDIOS Y VAQUEROS

Dos componentes genéticos dejaron su impronta en Europa durante el Neolítico: el ADN de los cazadores y recolectores arraigados y el de los agricultores que inmigraron desde Anatolia. Dentro de nosotros seguimos portando ambos en la actualidad. Sin embargo, existe un tercer pilar genético; hoy está fuertemente representado sobre todo en el norte y en el este de Europa, y es al menos claramente detectable en el resto del continente. Pasó tiempo hasta que pudimos explicar cuándo se añadió este componente y de dónde procedía. Y es que no solo los europeos primitivos y los modernos lo llevan en su interior, sino también —y en una proporción mayor— una población de la que no cabría esperarlo ni mucho menos: los indígenas de América, que definitivamente no se cuentan entre nuestros antepasados directos. Fueron precisos algunos rodeos para aclarar esa conexión genética, que es una clave para la comprensión de una impresionante ola migratoria que hace unos 5000 años introdujo en Europa una nueva era tras la revolución neolítica. Fue esta corriente migratoria la que nos hizo genéticamente lo que somos en la actualidad.

En el año 2012, el análisis del ADN de personas que viven hoy mostró que los europeos están más emparentados con los indígenas del norte y del sur de América que con los seres humanos de Asia oriental y sudoriental. No había manera de hacer concordar este hallazgo con los conocimientos arqueológicos existentes hasta entonces, según los cuales América fue poblada hace 15 000 años, es decir, en la fase final de la Edad de Hielo, a través del entonces todavía seco estrecho de Bering y de Alaska. Si el ser humano se expandió primero desde África hasta Asia, y de allí prosiguió hasta América, los europeos tendrían que estar genéticamente más emparentados con los asiáticos orientales que con los primitivos americanos, porque estos fueron los últimos en escindirse de los asiáticos. Sin embargo, las pruebas genéticas demostraban justamente lo contrario.

Para resolver esta contradicción se formuló una teoría nueva, según la cual América no fue colonizada tan solo por cazadores y recolectores de Asia oriental, sino también por seres humanos que vivían en un territorio que comprendía desde el norte de Europa hasta Siberia. Se postuló que estos humanos se habrían mezclado con asiáticos orientales y habrían emigrado a América a través de Alaska. La proximidad genética de europeos e indígenas americanos quedaría aclarada de esta manera. Sin embargo, esta teoría nunca

fue realmente muy manejable, pues las barreras climáticas y geográficas de entonces hablaban en contra de que los cazadores y recolectores de la Siberia oriental y de Europa se reprodujeran juntos de forma regular durante la Edad de Hielo para producir de esta manera una población unitaria que coincidiera genéticamente con los actuales indígenas americanos y con los europeos.

Ese modelo no se sostuvo durante mucho tiempo. Cuando en el año 2014 secuenciamos el genoma de la campesina suabo-anatolia y lo comparamos con el de los seres humanos que vivieron con anterioridad en Europa, supimos qué componentes caracterizaron a los agricultores posteriores y a los cazadores y recolectores europeos; y ni los componentes de unos ni de otros se encuentran en los descendientes actuales de los primitivos americanos. Aquel puente genético supuesto en un principio se desmoronó, por consiguiente, ya que los cazadores y recolectores europeos no podían haber emigrado a América. La pista decisiva para saber dónde se hallaba la raíz genética común de los europeos y de los nativos americanos acabó proporcionándola el denominado «chico de Mal'ta», que vivió hace 24 000 años en la región del lago Baikal, al norte de Mongolia. Su genoma es el eslabón perfecto entre europeos y nativos americanos, pues contiene genes que comparten ambas poblaciones en la actualidad. La herencia genética encontrada en el chico de Mal'ta podría haberse mezclado, por tanto, con los genes de los vecinos asiáticos orientales y hace unos 15 000 años haber alcanzado América a través del puente terrestre entre Siberia oriental y Alaska; y, de alguna manera, y en algún momento, también haber llegado a Europa. De este modo quedaba explicado el parentesco cercano entre las poblaciones de ambos continentes. Ahora bien, ¿qué sucedió exactamente para que ni los agricultores que llegaron a Europa hace ocho mil años, ni los cazadores y recolectores que vivían antes aquí, llevaran en su interior los genes del chico de Mal'ta? ¿Y por qué los encontramos, no obstante, en casi todos los europeos actuales, y además en una proporción que llega hasta el 50 por ciento?

Averiguarlo fue una tarea muy laboriosa. En el año 2015, en el marco de la cooperación internacional, desciframos los genomas de sesenta y nueve seres humanos que en el periodo comprendido entre hace 8000 y 3000 años vivieron principalmente en la región del curso medio del río Elba y el río Saale. La idea era crear muestras genéticas representativas para las diferentes épocas de este largo periodo con la esperanza de averiguar cuándo llegó a Europa el tercer componente genético. Funcionó. En primer lugar, se confirmó que el ADN del chico de Mal'ta no desempeñó ningún papel en

Europa hasta hace 5000 años. Esto es lo que mostraba, por ejemplo, el genoma de Ötzi, que vivió hace 5300 años y carecía por completo de los genes de Mal'ta. Sin embargo, hace 4800 años aparecieron de forma repentina en los huesos de los primeros europeos, y ciertamente no de una manera tímida, sino masiva y abruptamente. Los componentes genéticos de los agricultores y de los cazadores y recolectores europeos previos desaparecieron casi por completo en este periodo.

Así pues, tuvieron que haber llegado a la Europa central muchísimos seres humanos con los genes de Mal'ta y, en apenas cien años, es decir, aproximadamente, en cinco generaciones, cambiar por completo la estructura genética del lugar. Si quisiéramos alcanzar un efecto similar hoy, tendrían que inmigrar de golpe diez mil millones de seres humanos a Europa, es decir, muchos más de los que viven en la Tierra. O, para permanecer en el terreno de lo posible, tendrían que llegar a Alemania mil millones de inmigrantes. Los análisis genéticos demostraron a su vez que el ADN de estos seres humanos procedía de la estepa póntica, situada al norte del mar Negro y del mar Caspio, en el sur de Rusia.

De este modo, los europeos y los nativos americanos parecen haber recibido una gran parte de sus genes del este de Europa y de Siberia. En ese territorio vivían los llamados «euroasiáticos del norte ancestrales», a los que también pertenecía el chico de Mal'ta. El hábitat de este grupo se extendía en más de siete mil kilómetros desde Europa oriental hasta la región del lago Baikal. Los dos extremos de esta región del mundo están unidos por la gigantesca estepa kazaja, a la que están conectadas las llanuras del mar Caspio y del mar Negro. Los euroasiáticos del norte ancestrales se expandieron por Oriente probablemente hace unos 20 000 años y se mezclaron con los asiáticos orientales. La población resultante explotó las riquezas y los suelos de América hace 15 000 años; sus habitantes nativos llevan en su interior una mezcla casi equilibrada de genes de Asia oriental y de los euroasiáticos del norte ancestrales. En cambio, a Europa llegó ese componente euroasiático del norte hace, aproximadamente, 4800 años, y lo hizo con muchísimo ímpetu. Cuando los europeos descubrieron América hace más de quinientos años, se cerró en cierto modo un círculo, pues los colonos se toparon, desde un punto de vista genético, con parientes muy antiguos.

LOS EUROPEOS DE LOS CUATRO COMPONENTES

Tras la inmigración de los campesinos anatolios hace 8000 años, el cambio radical producido hace 4800 años apunta a una oleada migratoria muchísimo mayor. Y al igual que en el Neolítico, a ese cambio radical le sucedió una normalización, cuando el ADN de los europeos arraigados fue ganando importancia con el paso del tiempo. Especialmente allí donde los inmigrantes de la estepa llegaron en último lugar, es decir, en el suroeste del continente, el denominado componente de la estepa es donde menos presencia tiene, aunque sigue siendo medible con claridad. Con esa oleada migratoria procedente del este quedó establecida la mezcla genética de los europeos que continúa existiendo en la actualidad.

El ADN de la estepa se compone, para ser exactos, de dos partes, pues los seres humanos de la estepa póntica no solo se remontan a los euroasiáticos del norte ancestrales, sino también a los inmigrantes de la región del actual Irán, es decir, de la parte oriental de la Media Luna Fértil en la que se inició el Neolítico y en cuya parte occidental los seres humanos se diferencian genéticamente de los de la parte oriental. Por consiguiente, hace 4800 años se vieron frente a frente en Europa dos componentes genéticos que ya habían coexistido antes también en la vecindad inmediata de la Media Luna Fértil. Por tanto, los europeos actuales son descendientes de cazadores y recolectores de Europa y de Asia, así como en un 60 por ciento, aproximadamente, de habitantes occidentales y orientales de la Media Luna Fértil.

DE VUELTA DE LA EDAD DEL BRONCE A LA EDAD DE PIEDRA

En ocasiones, los nuevos resultados del ADN nos llevan a los arqueogenetistas a conflictos semánticos. Los análisis no dejan ninguna duda de que hace 4800 años llegaron a Europa seres humanos procedentes de la región de la cultura yamna. Si juntamos esto con el calendario arqueológico corriente, entonces los seres humanos del este no solo llegaron al oeste, sino también al pasado. Y es que la cultura yamna conocía ya el bronce, razón por la cual los arqueólogos de la Europa oriental la sitúan en la Edad del Bronce. En el oeste, en cambio, la Edad del Bronce no comienza (al menos en la bibliografía existente en lengua alemana) hasta hace 4200 años. Así pues, los inmigrantes de la estepa abandonaron hace 4800 años la Edad del Bronce y llegaron a la Edad de Piedra, en el denominado Neolítico final. El hecho de que durante este periodo se utilizaran ocasionalmente objetos de bronce y de cobre (por ejemplo, en la región del curso medio del Elba y del Saale y en la actual Polonia) no simplifica las cosas. Dado que las gentes de la estepa póntica se trajeron consigo obviamente el oficio del procesamiento del bronce, esto nos da buenos motivos, en mi opinión, para datar el comienzo de la Edad del Bronce hace 4800 años también en la Europa occidental. Sin embargo, por el momento se sigue hablando de la «Edad del Cobre» o del Neolítico final.

El punto de partida de la gran inmigración procedente del este fue la cultura yamna, que se originó hace unos 5600 años en la estepa póntica. Esta no solo producía una amplia variedad de vasijas de cerámica, sino también cuchillos y dagas, algunos de los cuales ya estaban fabricados a partir del bronce. Estos humanos tuvieron mucho éxito con el pastoreo. Atravesaban las estepas con gigantescos rebaños de vacas y se detenían en un lugar hasta que sus animales dejaban pelados los prados. Para la región, ese nomadismo era la forma más lógica de pasticultura. El suelo de la estepa no es en efecto muy fértil, pero a cambio es extensísimo; el camino hasta el horizonte suele expresarse únicamente en jornadas de marcha. Los gigantescos túmulos que fueron construidos por todas partes en la estepa son testimonio de la época yamna; probablemente no solo servían para el culto funerario, sino también como puntos de orientación en ese paisaje inabarcable. De esas tumbas, llamadas kurganes, procede la mayoría de los hallazgos arqueológicos de la época y, por supuesto, también los datos genéticos más recientes. Un kurgán se componía la mayoría de las veces de una cámara sobre la cual se apilaba un montículo de tierra. Los kurganes pequeños tenían dos metros de altura; otros se elevaban hasta los veinte metros. En las cámaras funerarias se encontraron, además de restos mortales humanos, generosas ofrendas; en ocasiones, los difuntos eran sepultados con carros enteros o con todos los enseres domésticos. En una cámara que investigamos, el conductor del carro seguía sentado en el tiro. Su esqueleto presentaba varias docenas de fracturas óseas curadas, igual que el de un neandertal o de un jinete moderno de un rodeo. La vida como pastor no era obviamente ningún caramelo.

UN AGUJERO NEGRO DE CIENTO CINCUENTA AÑOS

Esos seres humanos llegaron a Europa hace 4800 años, en verdad con una superioridad numérica inimaginable, pero probablemente no por primera vez. En la orilla occidental del mar Negro se encuentran indicios genéticos de contactos, por lo menos esporádicos, de los moradores de la estepa en la Europa oriental, y ello mucho tiempo antes de la gran inmigración. Esto lo sabemos por los análisis de ADN de seres humanos que durante el Neolítico vivieron en la región de la localidad actual de Varna, situada en Bulgaria. Varna albergó una de las culturas más ricas de esa época, en la región se encontraron objetos de oro que tienen una antigüedad mayor de 6200 años y que fueron empleados como ofrendas funerarias mucho tiempo antes de que esto fuera algo habitual en el Egipto de los faraones. Desde un punto de vista

genético, los seres humanos de la cultura de Varna eran descendientes de los anatolios inmigrados, al igual que la mayoría de los europeos, pero hay al menos un individuo conocido que vivió allí hace 6200 años y que portaba ADN de la estepa. Así pues, en esa época las gentes de Varna podrían haber trabado contactos, aunque solo fueran esporádicos, con la estepa, y su cultura fue una de las primeras en Europa en derrumbarse. Los asentamientos en el territorio de la actual Bulgaria desaparecieron a finales del IV milenio a. C., exactamente igual que el ADN anatolio que volvería a surgir algunos siglos más tarde. Esta misma historia se repitió poco después en toda Europa.

Sin embargo, esto no significa que los inmigrantes procedentes del este irrumpieran de repente en Europa y que desplazaran de golpe a todo aquel que vivía aquí. Más bien parece como si hubieran avanzado hacia territorios en parte despoblados. Debe recordarse que, del periodo de hace entre 5500 y 5000 años, en la Europa central apenas se encuentran esqueletos. Las pocas pruebas de ADN que hay de ese tiempo portan los genes neolíticos procedentes de Anatolia. Para el periodo de hace entre 5000 y 4800 años no tenemos ningún ADN aprovechable de la Europa central, ni tampoco objetos; parece como si todo hubiera sido engullido por un agujero negro. Hace algo más de 4800 años, los inmigrantes de la estepa llegaron, por lo visto, a regiones despobladas.

Hasta el momento lo que provocó esa catástrofe se ha quedado en mera especulación. Si para las relaciones numéricas actuales sería necesaria la llegada de diez mil millones de seres humanos a Europa para causar un cambio genético similar, esto indicaría un extremo retroceso poblacional antes de la gran inmigración, pues no sería posible una ruptura tan radical de otra manera. Desde nuestro punto de vista, muchos indicios parecen apuntar a una epidemia gigantesca que dejó muy pocos supervivientes. En cualquier caso, los genomas más antiguos de la peste que han sido descifrados datan de esa época. Se encontraron en los restos mortales de seres humanos de la cultura yamna en la estepa y se expandieron desde allí hacia Europa, por la misma vía que el ADN de la estepa. Naturalmente, también son concebibles los conflictos bélicos entre los nómadas de la estepa y los agricultores, cuando los pastores de ganado procedentes de la estepa intentaban explotar nuevas tierras para pastos. Sin embargo, incluso para ese escenario, la población en la Europa central debería haber sido muy diezmada antes de la invasión del este, pues de lo contrario habría indicios de seres humanos asesinados con ADN neolítico para la fase anterior a hace 5000 años, como, por ejemplo, fosas comunes o campos de batalla, pero no los hay.

Del mismo modo, apenas se encuentran testimonios arqueológicos de ese periodo. Ese vacío en la transmisión podría haber sido propiciado por el estilo de vida de los inmigrantes. Si al principio mantuvieron su nomadismo durante varias generaciones (de lo cual hay muchos indicios, sobre todo en el este de Europa, con su paisaje similar al de la estepa), entonces no construirían tampoco edificios que los arqueólogos hubieran podido excavar posteriormente. Casi las únicas construcciones que se han conservado de esos ciento cincuenta años oscuros son los túmulos que se asemejan mucho a los de la cultura yamna. El hecho de que la presencia de esos montículos funerarios disminuya claramente en Alemania central y de que no aparezcan siquiera más al oeste habla en favor de esta reflexión. Cuanto más avanzaban los pastores por la montañosa Europa central, menos motivos podrían haber tenido para mantenerse con sus rebaños en terrenos cada vez más inapropiados. Además, los túmulos no producían un efecto tan espectacular en un entorno muy montañoso como en las llanuras esteparias, lo cual podría haber sido un motivo para no realizar esas laboriosas obras de construcción.

En el transcurso de un siglo, los inmigrantes avanzaron hasta la región del curso medio del Elba y del Saale, y al cabo de dos siglos más llegaron a la actual Gran Bretaña, tal como podemos deducir por los análisis de ADN. No obstante, el impacto de la inmigración no quedó debilitado hacia el oeste, sino todo lo contrario; prácticamente en ningún otro lugar es tan clara la brecha genética como al otro lado del canal de la Mancha. Si en el territorio de la actual Alemania se modificó el 70 por ciento de la estructura genética, en Gran Bretaña fue como mínimo el 90 por ciento. Los inmigrantes de la estepa desplazaron aquí a los constructores de Stonehenge, pero continuaron utilizando ese lugar de culto, e incluso lo ampliaron. Los recién llegados con el componente de la estepa no alcanzaron la península Ibérica, el punto más alejado de la Europa continental, hasta quinientos años después, y con una fuerza claramente menor que en el resto de Europa. Prosiguió el papel especial de España en la historia genética de Europa, ya observado en la Edad de Hielo y favorecido por la barrera de los Pirineos. Los españoles actuales son, junto con los sardos, los griegos y los albaneses, los europeos con el menor número de genes de la estepa.

Por regla general, ese componente predomina en la actualidad en el norte de Europa; el ADN de los agricultores domina desde España, pasando por el sur de Francia e Italia, hasta la región meridional de los Balcanes. Si los moradores de las estepas preferían terrenos llanos, la ruta más lógica hacia el oeste era la que pasaba por las actuales Polonia y Alemania en dirección al

norte de Francia y a Gran Bretaña. Hace unos 4200 años se produjo un contramovimiento. Entonces, los genes de la estepa no se trasladaron hacia el oeste sino en dirección al este, enriquecidos con el ADN de los agricultores. Por este motivo, los habitantes de la Rusia central e incluso de la cordillera de Altái poseen en la actualidad los mismos componentes genéticos de Anatolia que los de la Europa occidental.

Los efectos tardíos de la historiografía nacionalista

Los genes de la estepa se propagaron a una velocidad tan grande como ni de lejos se había producido antes en los movimientos migratorios. Esto se debió también a un medio de locomoción revolucionario: el caballo. La gente provenientes de la estepa no solo multiplicaron así su ritmo, sino que se convirtieron también en guerreros extraordinariamente efectivos. Y es que, junto con el caballo, se trajeron una novedosa técnica de arco y flechas; en lugar del conocido arco largo, ellos utilizaban arcos cortos. Estos tenían una mayor potencia de disparo y, gracias a su manejabilidad, podían utilizarlos mientras cabalgaban. No podía existir apenas otra combinación más letal en aquella época que el caballo, veloz, unido al arma manual del arco corto y las flechas. Además, los inmigrantes (que en promedio aventajaban en una cabeza de estatura a los centroeuropeos y que por ello debían de dar una impresión mucho más marcial) iban pertrechados con hachas de guerra. Innumerables yacimientos arqueológicos revelan enfrentamientos violentos entre los campesinos arraigados y los recién llegados. Parece que el hacha desempeñó un papel destacado en la fase inicial de la inmigración, pues se convirtió en una ofrenda funeraria regular sobre todo en la Europa central, mientras que más hacia el oeste y el sur las armas principales habrían sido arcos y flechas. Por este motivo, ya en el siglo XIX se estableció en el espacio lingüístico alemán, pero también en Escandinavia y Gran Bretaña, la denominación «cultura de las hachas de guerra». Los nacionalistas las incorporaron posteriormente con agrado a su propaganda y las reinterpretaron como un ejemplo temprano de la superioridad alemana en la guerra. Por motivos comprensibles se impusieron otros términos después de la Segunda Guerra Mundial.

En la actualidad ya no se habla de «cultura de las hachas de guerra», sino de «cultura de la cerámica cordada». Se denomina de esta manera de acuerdo con los típicos patrones de cuerdas utilizados en aquella época para las vasijas de cerámica. En la parte occidental del continente dominaba por ese entonces

la «cultura del vaso campaniforme» por la forma de campana de sus vasijas, encontradas sobre todo en Gran Bretaña, Francia, en la península Ibérica y también en la parte central y meridional de Alemania. Conforme a la teoría arqueológica tradicional, el fenómeno de la cultura del vaso campaniforme se extendió desde el actual Portugal hacia el norte, hasta Gran Bretaña, es decir, de una manera paralela e independiente de la cerámica cordada. Sin embargo, los nuevos resultados genéticos contradicen esta teoría. En un estudio a gran escala en el que participó nuestro instituto, en el año 2018 se descifraron alrededor de cuatrocientos genomas de esqueletos de ambas zonas culturales de la época, antes y después de la inmigración procedente de la estepa. Según esos resultados, la cultura del vaso campaniforme se impuso en Gran Bretaña una vez que sus antiguos habitantes quedaron desplazados casi por completo por el ADN de la estepa. Por la misma época se extendió la cultura del vaso campaniforme, tal como muestran las ofrendas funerarias, por toda la península Ibérica, pero en ella sin movimientos migratorios dignos de reseñar. Así pues, a Gran Bretaña llegó la cultura del vaso campaniforme con los inmigrantes; en otras partes se difundió como cultura, esto es, de seres humanos a seres humanos.

Puede que a los legos en arqueología les sea indiferente cuándo y por qué los seres humanos comenzaron a beber de otros vasos y en qué regiones. Pero para la arqueología constituye una cuestión secular marcada por lo político como ninguna otra. Desde que en el siglo XIX los arqueólogos y, con posterioridad, algunos científicos próximos al nacionalsocialismo postularon que un espacio cultural unitario había que asignarlo siempre a un pueblo (léase: a un ADN común), se extendió también la idea de que las técnicas culturales superiores apuntaban a una superioridad genética, de la cual, por ejemplo, los descendientes de una «cultura de las hachas de guerra» podrían deducir algunas reivindicaciones de poder. Esta teoría denominada «cultura-lengua-pueblo» estuvo muy saturada políticamente en la arqueología de lengua alemana después de la Segunda Guerra Mundial y también gozaba de mala fama; se impuso la concepción de que las culturas no se extendían por la migración, la conquista y el sometimiento, sino por el intercambio cultural entre las poblaciones. Análogamente resultaban controvertidas también aquellas teorías que postulaban que había habido grandes oleadas migratorias hace 8000 y 5000 años hacia Europa, que causaron cambios culturales radicales. Sin embargo, los datos genéticos de la revolución neolítica (y aún más los de la inmigración procedente de la estepa) apuntan de manera inequívoca en esa dirección, lo cual provoca dolores de cabeza a muchos

arqueólogos. Los análisis de la expansión de la cultura del vaso campaniforme en la península Ibérica y hacia Gran Bretaña demuestran, no obstante, que el debate del o todo blanco o todo negro ha quedado obsoleto. El cambio cultural suele ir acompañado de movimientos migratorios, pero también tiene lugar sin ellos.

EL CABALLO DE PRZEWALSKI YA NO ES SALVAJE

Con los habitantes de la estepa también llegaron a Europa muchos caballos; o, en cualquier caso, de esta época existen muchísimos más hallazgos de esqueletos de estos animales. El caballo era un medio de locomoción ideal en la extensa estepa; al fin y al cabo, lo importante era superar distancias gigantescas y vigilar a grandes rebaños. Junto con la rueda y el carro, estos nómadas tenían a su disposición el vehículo más rápido de su tiempo. La primera fuerza motriz de la historia de la humanidad podría haber sido la innovación técnica decisiva que les permitió avanzar hacia el oeste.

El ADN más antiguo que se conserva de un ser vivo proviene de un caballo; yacía en el permafrost de Alaska y murió hace 750 000 años. También en Eurasia vivían caballos salvajes desde tiempos inmemoriales. Probablemente fueron domesticados por primera vez en la estepa de Kazajistán por los seres humanos de la cultura botai, que se originó hace 5700 años. En la posterior cultura yamna, el caballo doméstico era ya un elemento fijo en la vida cotidiana. Durante mucho tiempo se supuso que de la estepa llegaron a Europa aquellos caballos y que estos desplazaron a las especies salvajes autóctonas. Según esta teoría, los actuales caballos domésticos europeos serían descendientes de los caballos botai; en cambio, los antiguos caballos salvajes europeos habrían sobrevivido en los llamados caballos de Przewalski. De ahí que desde comienzos del siglo XX se tomaran amplias medidas de protección de las especies en favor de los caballos de Przewalski; entretanto vuelven a existir algunos miles de estos animales después de haber sido casi exterminados a comienzos del siglo XX.

Una comparación genética de las diferentes especies de caballos demostró, sin embargo, que no eran correctas las teorías acerca de su procedencia. Los caballos domésticos modernos no se remontan a los caballos botai, sino a los caballos de Przewalski. Los análisis genéticos confirman que con estos últimos no sobrevivió el antiguo caballo salvaje euroasiático, sino el caballo botai domesticado, que por lo visto volvió a asilvestrarse, de una manera similar a los mustangs en América, que provenían de los caballos domésticos españoles. Los inmigrantes de la estepa parecen haber apostado más bien por los caballos salvajes europeos, a los que domesticaron al cabo de unos pocos siglos gracias a la elevada experiencia acumulada. Sigue sin estar clara la procedencia de estos caballos, si venían de la Europa central o de la oriental. Lo que sí parece seguro es que en la actualidad cabalgamos sobre los descendientes de esos caballos. En cambio, ya no existían los caballos salvajes europeos cuando el ser humano comenzó a preservar a los, supuestamente, últimos ejemplares de su especie en la forma del caballo de Przewalski.

El desplazamiento genético durante los primeros siglos después de la inmigración de la estepa no solo atestigua la superioridad numérica de los inmigrantes, sino también la proporción de miembros de ambos sexos en este grupo. El ADN mitocondrial de los habitantes de Europa en la Edad del Bronce nos ofrece indicios al respecto. Si hubieran inmigrado muchas mujeres de la estepa y hubieran impulsado los desplazamientos genéticos subsiguientes, entonces el ADNmt de las siguientes generaciones, que se hereda exclusivamente por línea femenina, habría estado dominado forzosamente por el componente de la estepa. Pero no fue así. En cambio, sí tuvo lugar un desplazamiento intenso en los cromosomas Y, es decir, en aquella parte del genoma que solo se transmite de padres a hijos varones. Entre el 80 y el 90 por ciento de los cromosomas Y de la Edad del Bronce no habían estado presentes en Europa hasta entonces, pero sí en cambio en la estepa. Ambos resultados apuntan en la misma dirección: a la Europa central llegaron hombres de la estepa y engendraron muchos hijos con las mujeres locales. Los análisis genéticos permiten suponer que los inmigrantes de la estepa eran, en un 80 por ciento, hombres.

Conforme a toda experiencia humana, los varones arraigados no se alegraron mucho ante la competencia de tantísimos jinetes esbeltos. Se produjeron peleas y actos violentos. Uno de los ejemplos más espectaculares es el incidente que ha sido narrado en un libro con el título de *Lugar del crimen: Eulau*. Este suceso acaeció hace unos 4500 años en el actual estado federado de Sajonia-Anhalt, cuando los nuevos ya se habían establecido en la Europa central y, por lo visto, seguían quitándoles las mujeres a los otros hombres. Ocho niños, tres mujeres y dos hombres fueron ejecutados por aquel entonces en la localidad de Eulau con disparos de flechas apuntadas directamente al corazón. El objetivo del asalto fue un asentamiento de representantes de la cultura de la cerámica cordada, es decir, por seres humanos con un trasfondo migratorio de la estepa. Las puntas de las flechas que se encontraron en las víctimas pertenecían al parecer a neolíticos arraigados. Para la redacción del libro intervino incluso un analista de casos de la Oficina Federal de Investigación Criminal para examinar el lugar del crimen, y esta persona habló de un asesinato para cuya perpetración se requería una elevada cualificación como tirador de precisión.

Solo puede suponerse lo que llevó a los atacantes a asesinar a mujeres y a niños. El libro se decanta por una explicación que pone la piel de gallina. Se

basa en un análisis del ADN de las mujeres asesinadas, en las que no se encontró ningún tipo de ADN de la estepa, a pesar de que todas ellas vivían en un asentamiento de la cultura de la cerámica cordada y habían tenido a sus hijos allí. Las mujeres parecen haber llegado al asentamiento procedentes de otro lugar. Así pues, según esa suposición, podría tratarse de un acto de venganza, o bien hacia las mujeres, por abandonar el grupo, o bien hacia los hombres, por haber «robado» a las mujeres. De todas formas, hay que albergar reservas respecto a esta historia, ya que solo pudo investigarse el ADN mitocondrial de las mujeres. Solo los desciframientos completos del genoma podrán decirnos si las mujeres no portaban ningún tipo de genes de la estepa y cuál era el grado exacto de parentesco entre las víctimas.

Los cromosomas Y que llegaron a Europa con los inmigrantes son, hasta la fecha, los más dominantes en el continente; por consiguiente, un porcentaje muy significativo de la población se remonta a una serie de «padres varones primigenios» procedentes de la estepa. Sin embargo, existe una frontera genética entre el este y el oeste de Europa. Con certeza, la mayoría de los hombres porta un cromosoma Y procedente de la estepa, pero en el este y en el oeste domina, respectivamente, un subtipo distinto. Así pues, casi el 70 por ciento de los europeos occidentales varones poseen un cromosoma Y del haplogrupo R1b y casi la mitad de los europeos orientales varones, uno del tipo R1a. Aunque no debería sobrestimarse la contundencia de los datos de los haplogrupos, cuyas líneas de descendencia se resumen en un árbol genealógico tanto del ADN mitocondrial como también de los cromosomas Y, se muestra en ellos un paralelismo notable con los resultados de la arqueología. De este modo, el grupo R1a es dominante allí donde se estableció la cultura de la cerámica cordada, mientras que el grupo R1b aparece sobre todo en los territorios de la cultura del vaso campaniforme. Aunque acabe resultando ser pura casualidad, también merece la pena mencionar que las proporciones mayoritarias entre los hombres de los grupos R1a y R1b trazan en Alemania una línea que coincide con bastante exactitud con la antigua frontera interalemana.

ES LA LECHE

A pesar de que la inmigración procedente de la estepa provocó la mayor convulsión genética de la historia de Europa, aquel giro cultural no fue tan drástico como el de, aproximadamente, 3000 años antes, cuando llegaron los campesinos de Anatolia. Si en aquella primera gran migración los agricultores

se toparon con cazadores y recolectores, esta vez fueron los agricultores quienes se encontraron con otros agricultores. Ciertamente, hace cinco milenios se abrió una brecha arqueológica de 150 años en muchas regiones de Europa; sin embargo, para el periodo siguiente pueden observarse de nuevo estructuras de asentamientos muy similares a las de épocas anteriores. Al igual que sus predecesores, los nuevos colonos vivían en aldeas y trabajaban en los campos cultivados en los alrededores. Ahora bien, aparte de la capacidad para el procesamiento del bronce, los nómadas del este se diferenciaban claramente de los agricultores del oeste como mínimo en un punto crucial: eran vaqueros apasionados. Mientras que los campesinos locales mantenían apenas dos vacas, los recién llegados poseían rebaños enteros. Europa, con sus tierras fértiles, les proporcionaba unas posibilidades completamente nuevas. Ahora ya no tenían que trasladarse con su ganado una vez pastoreada una zona, sino que podían establecerse en un lugar y entregarse a la ganadería intensiva local. La agricultura se transformó de forma drástica en Europa, y con ella también la alimentación. Esa evolución quedó reflejada a su vez en los genes de los europeos.

Las vacas de hace 8000 años no tenían nada que ver con los animales de alto rendimiento actuales, capaces de dar un promedio de cincuenta litros de leche al día. Para una vaca del Neolítico debían de ser como máximo dos litros, a pesar de que los humanos incrementaron muy pronto esa cantidad por medio de la optimización genética (léase «cría»), y en la Edad Media una sola producía ya entre quince y veinte litros diarios. Ahora bien, solo una pequeña parte de los dos litros que daba una vaca hace 5000 años iba a parar a los estómagos de sus dueños, pues el resto se la bebían los terneros, gracias a los cuales se producía la leche. Si el resto se repartía entre la familia de agricultores, apenas alcanzaba para un vaso por persona. Y eso estaba bien también, ya que los europeos de entonces no estaban hechos para el consumo de grandes cantidades de leche de vaca.

Muchos continúan no estándolo en la actualidad debido a que son intolerantes a la lactosa. En contra de lo que se suele suponer, no se trata de ninguna alergia y mucho menos de una enfermedad, sino simplemente del estado genético primitivo de todos los mamíferos adultos: por configuración predeterminada, tan solo las criaturas pequeñas son capaces de digerir la leche. Su intestino delgado absorbe el azúcar de la leche después de haber sido descompuesta por la enzima lactasa. En la edad adulta finaliza la producción de esta enzima; la leche pierde entonces su carácter nutritivo porque el azúcar ya no puede transformarse en energía. En su lugar son las

bacterias las que descomponen el azúcar de la leche en el intestino delgado y en ese proceso producen gases. Las consecuencias son diarrea y flatulencias. No es algo peligroso, pero sí muy desagradable y en parte también doloroso. En términos evolutivos, esa programación genética tiene sentido porque de lo contrario los bebés competirían por la leche materna con otros miembros de la familia, como, por ejemplo, sus padres varones, cuando de lo que se trata en épocas de escasas provisiones es de abrirse a fuentes de alimentación alternativas. Entretanto ya no existe ningún motivo para este dispositivo de protección biológica.

Hoy incluso las personas con intolerancia a la lactosa pueden beber leche sin problemas, pues la enzima lactasa se vende en paquetes en las farmacias. El hecho de que la mayoría de los adultos que no necesitan tales pastillas vivan en Europa septentrional y en la Europa central se debe a una mutación del gen que interrumpe la producción de enzimas y que está muy extendida en esas regiones. Los seres humanos con ese cambio genético siguen produciendo lactasa más allá de la infancia. Esta mutación se difundió con la creciente disponibilidad de leche en Europa. Hasta entonces no había sido necesaria. Incluso las personas con intolerancia a la lactosa pueden beber un vaso de leche al día sin mayores problemas, ahora bien, solo digieren la grasa y la proteína y no así el valioso azúcar que contiene. Cuando hubo más leche disponible, la tolerancia a la lactosa se convirtió en una auténtica ventaja evolutiva, y ese parece haber sido el caso en Europa central con la inmigración de los vaqueros procedentes de la estepa. Probablemente, la tolerancia a la lactosa no se la trajeron consigo los inmigrantes, sino que solo la promovieron, ya que sus habilidades como pastores en combinación con los exuberantes pastos provocó un incremento significativo del consumo de leche en Europa; en cualquier caso, no conocemos a ningún individuo de la cultura yamna con tolerancia a la lactosa en la edad adulta.

Esta mutación se expandió por la Europa central con la explotación de pastos, y además a una velocidad como hasta entonces no se conocía en ninguna otra mutación, ni siquiera en la del color de la piel. Donde más extendida se halla esta mutación hasta la actualidad es en el norte de Europa, donde como máximo hay un 20 por ciento de personas intolerantes. Cuanto más nos adentramos en el sur, mayor es el descenso de la tolerancia; en los Balcanes y en la península Ibérica es la más baja. A escala planetaria, la menor tolerancia la presentan las personas en amplios territorios del África subsahariana, en el Sudeste Asiático y en Sudamérica. Sin embargo, también hay poblaciones en África y en Asia meridional en las que se acumulan

mutaciones del gen de la lactasa; no obstante, estas se han originado independientemente de la variante europea. Así pues, la adaptación al consumo de leche parece haberse producido de manera múltiple en todo el mundo.

Resulta sorprendente, en concreto, el bajo número de personas tolerantes a la lactosa en los Balcanes. Después de todo, los primeros agricultores de Europa se establecieron aquí con sus vacas hace 8000 años, lo cual hablaría a favor de unas buenas condiciones para la tolerancia, igual que las preferencias alimentarias de la región balcánica. El *ayran*, una bebida láctea compuesta de yogur, agua y sal, está muy difundido allí, el yogur es muy popular y el queso de oveja es un éxito en la exportación. Todos estos productos lácteos conforman el menú desde hace milenios; algo similar ocurre en Italia, donde los intolerantes a la lactosa son mayoría. La explicación es sencilla: el yogur y los tipos de queso en cuestión están fermentados, la lactosa queda descompuesta ya en el transcurso de la producción mediante las bacterias. En el sur, las altas temperaturas podrían haber conducido a que la leche se consumiera casi siempre en una forma predigerida bacteriológicamente. La situación es por completo distinta en el norte: allí la leche se mantenía fresca durante más tiempo, así que la descomposición de la lactosa debía producirla el propio organismo humano.

AUGE DE LA CRÍA INTENSIVA DE ANIMALES

La marca de la tolerancia a la lactosa lo fue todo menos un interesante efecto secundario de la agricultura en desarrollo. Los datos genéticos muestran más bien que los seres humanos con esta cualidad tenían en promedio más hijos que aquellos que no poseían esa mutación. Las familias con uno o varios miembros tolerantes a la lactosa disponían de una fuente de alimentación adicional, lo cual aumentaba su salud y, por consiguiente, el número de descendientes.

La tolerancia a la lactosa resultó ser particularmente útil en el norte. Después de todo, los suelos allí eran menos fértiles que en el sur, pero resultaban muy apropiados para pastos. Al utilizar la sustanciosa leche como suministro de energía, probablemente los seres humanos podían compensar con ella la carencia de otros alimentos. No en vano los celtas y los germanos pasaban por ser, a ojos de los romanos, destacados bebedores de leche.

La economía de pastoreo debió de ganar importancia en los siglos siguientes a la inmigración procedente de la estepa. Los agricultores

mejoraron sus técnicas de cultivo y pudieron alimentar a más personas; la población creció. En Europa iban las cosas hacia arriba. La cultura del vaso campaniforme y de la cerámica cordada estaban floreciendo; ambas se mantenían muy distantes en lo relativo a los rituales funerarios, al armamento y, por supuesto, al estilo en la elaboración de la cerámica, pero a pesar de todo iban acercándose cada vez más. Los recursos limitados no solo generaban la competencia entre los seres humanos, sino que los obligaban formalmente a entrar en contacto y a comerciar. Gracias al caballo, la rueda y el carro, las mercancías podían transportarse a distancias mucho más largas que hasta entonces. La gente estaba a las puertas de una nueva era que emprendió su despegue de verdad con el comienzo de la Edad del Bronce, hace 4200 años. Obviamente fue una ayuda en ese proceso el hecho de que los seres humanos de las diferentes regiones pudieran comunicarse entre ellos de alguna manera sin excesivo esfuerzo. Y es que parece ser que con los inmigrantes procedentes de la estepa llegó una lengua nueva al continente. Europa hablaba, por fin, con una voz.

6

Los europeos encuentran una lengua

Los muertos no hablan. Los británicos no saben eslavo. También las palabras mutan. La respuesta está en Irán. La lengua se convierte en política.

Mar Báltico
Mar del Norte
Océano Atlántico
LENGUAS CELTAS
LENGUAS GERMÁNICAS
Alpes
Vasco
Etrusco
LENGUAS ROMÁNICAS
Paleosardo
Mar Mediterráneo
8.000
7.000
6.000
5.000
4.000
3.000
2.000
años
Protoindoeuropeo (IE)
La cultura yamna se expande probablemente con lenguas indoeuropeas
Lengua anatolia (hitita: lengua IE)
Lineal A (minoico: no es una lengua IE)
Erupción volcánica en Tera (Santorini)
Lineal B (griego micénico: lengua IE)

Los europeos encuentran una lengua
LENGUAS
BALTO-ESLAVAS
hace aprox.
4.800 años
Cultura yamna
hace aprox. 5.600 años
Cárpatos
Mar Negro
Cáucaso
Mar Caspio
ARMENIO
hace aprox.
8.000 años
PROTO-
INDOEUROPEO
LENGUAS ANATOLIAS/
LENGUAS HITITAS
Montes Tauro
GRIEGO/
ALBANÉS
LENGUAS
INDOIRANIAS
MINOICO
(LINEAL A)
Mar Mediterráneo
0
300 km

En la actualidad hay en el mundo unas seis mil quinientas lenguas. Los lingüistas las han estudiado hasta en el último rincón de su sintaxis y de su vocabulario. Casi todo el conocimiento sobre sus orígenes se basa en un cosmos de escritura antigua y en cómo hay más de siete mil millones de personas que utilizan ese bien cultural. Aunque en los genes del ser humano está enraizada su capacidad para comunicarse en esa compleja forma, única entre los seres vivos de la Tierra, está claro que los huesos no nos revelan en absoluto cómo en su día hablaban sus propietarios. A pesar de todo, los análisis genéticos de estos últimos años nos han llevado también más lejos en este asunto. Entretanto podemos explicar de una manera bastante convincente, con la ayuda de árboles genealógicos lingüísticos, cuándo y cómo se expandieron por Europa y Asia las lenguas actuales. Los análisis sugieren que con la migración procedente de la estepa llegó a Europa una familia nueva de lenguas, de la cual surgieron casi todas las que se hablan en la actualidad en el continente. Sin embargo, la estepa solo fue una estación intermedia. El origen de nuestras lenguas actuales parece haber estado en los territorios de Armenia, Azerbaiyán, el este de Turquía y el noroeste de Irán.

Casi todas las lenguas que pueden oírse en la actualidad entre Islandia y Grecia y entre Portugal y Rusia se remontan a una raíz común. Esto es ciertamente un conocimiento rudimentario, pero representa un desafío para la experiencia cotidiana. Hay comarcas en Baviera o en Sajonia donde los habitantes de una aldea no entienden lo que habla la gente de siete aldeas más allá, por no mencionar las variantes existentes en el espacio lingüístico alemán. A pesar de todo, a la misma familia lingüística, el indoeuropeo, no solo pertenecen el palatino y el bajo alemán, sino también el islandés y el hindi. En una franja que va desde la India e Irán, pasando por el continente europeo, hasta llegar a Islandia, pueden encontrarse estructuras gramaticales y numerosas palabras que se remontan a un mismo origen, a excepción del vasco, del húngaro, del finés, del estonio y de algunas otras lenguas menores del noreste de Europa. Así pues, si retrocedemos en el tiempo lo suficiente, nos toparemos en algún momento y lugar del pasado con las raíces de todas las lenguas indoeuropeas, con una lengua primigenia común que se denomina «protoindoeuropeo».

Esto es, por supuesto, un constructo teórico. No sabremos nunca cómo sonaba exactamente esa lengua primigenia, el indoeuropeo. Los muertos no

hablan, así que los investigadores lingüísticos dependen de los registros escritos. Ahora bien, estos se originaron cuando las lenguas indoeuropeas ya se habían distanciado notablemente unas de otras, así que ofrecen puntos de referencia para una búsqueda de pistas, pero nada más. Por tanto, solo seguimos disponiendo de teorías acerca del origen y de la difusión de las lenguas indoeuropeas. La arqueogenética no cambia nada en este panorama, pero determinadas teorías lingüísticas concuerdan con sus descubrimientos mucho mejor que otras.

Son dos las teorías principales enfrentadas desde hace décadas en la investigación lingüística acerca de cómo llegaron las lenguas indoeuropeas a Europa. Según una de ellas, esto sucedió con la revolución neolítica, hace 8000 años. La otra postula que no ocurrió sino con la inmigración procedente de la estepa, es decir, hace, aproximadamente, 5000 años. Cabe señalar que ambas teorías existían ya antes de que se probaran genéticamente esos dos movimientos poblacionales destacables. La hipótesis de la estepa presupone por fuerza una inmigración que estuvo desacreditada durante mucho tiempo, sobre todo por arqueólogos de lengua alemana que refutaban en gran parte un desplazamiento semejante. Por este motivo, en el espacio lingüístico alemán se favoreció la variante neolítica, según la cual con la revolución cultural de la agricultura llegó también el indoeuropeo a la parte occidental de Eurasia. Esta teoría no presupone ninguna inmigración, sino que también funciona con la premisa de que la lengua se transmite de ser humano a ser humano, de igual manera que otras técnicas culturales.

Los descubrimientos de estos últimos años añadieron nuevos hechos y datos al debate, pero no bastaron para poder decantarse por una u otra teoría. Sabemos con certeza y de manera definitiva que tanto hace 8000 años como hace 5000 años tuvieron lugar grandes inmigraciones y que en ambos casos se desplazó a la población autóctona. Ahora bien, sigue estando abierta la cuestión de cuál de las dos oleadas migratorias se trajo consigo el indoeuropeo. Sin embargo, el modelo que proclama que entramos a formar parte de la familia de las lenguas indoeuropeas con la inmigración procedente de la estepa nos parece, entretanto, el más convincente.

Erupción volcánica en Santorini

Para comprender el origen del indoeuropeo nos sirve de ayuda echar un vistazo a los antiguos griegos, a los más antiguos. Los diligentes lingüistas de los últimos siglos no solo han revelado el parentesco entre las lenguas

indoeuropeas, sino que han descifrado también los documentos escritos conocidos más tempranos. Mostraron que la lengua indoeuropea más antigua de la que se conserva su escritura era la de los hititas, quienes vivieron hasta hace 3200 años en Anatolia. Desde hace cien años se conoce también la lengua escrita indoeuropea más antigua del continente europeo, una precursora del antiguo griego y, por consiguiente, del griego moderno: el griego micénico.

Se escribía mediante un sistema llamado «lineal B» y era hablada por seres humanos de la cultura micénica[23]. Hace, aproximadamente, 3600 años, los micénicos fundaron una de las primeras civilizaciones avanzadas de Europa. Vivían en tierra firme griega y fueron los antepasados de los griegos, si bien no los únicos. Y es que en la isla de Creta se desarrolló, incluso en una fase más temprana, la civilización avanzada minoica. Los minoicos empleaban otra escritura que los lingüistas denominan «lineal A». Lineal A y B poseen unas denominaciones similares a causa de la cercanía regional y cultural de minoicos y micénicos, e incluso los caracteres gráficos empleados en la escritura se parecen entre sí. Sin embargo, hasta la fecha solo puede leerse la escritura lineal B; con la lineal A se ha fracasado en ese propósito hasta la actualidad. De la escritura lineal B sabemos que es una precursora del griego y, por consiguiente, es una lengua indoeuropea. La lineal A probablemente no es una lengua indoeuropea, pues de lo contrario podría reconstruirse.

¿Qué significan esas diferencias básicas en el lenguaje escrito entre ambas culturas que eran vecinas y que mantenían un estrecho contacto? Para llegar al fondo de esta cuestión, investigamos también en estos últimos años el ADN de seres humanos de ambas civilizaciones avanzadas que vivían en las islas griegas y en torno al mar Egeo. En primer lugar, quedó demostrado que tanto los minoicos como los micénicos procedían de inmigrantes neolíticos de Anatolia; ambas poblaciones estaban, por tanto, estrechamente emparentadas. Sin embargo, existían asimismo diferencias genéticas significativas. Los micénicos del continente portaban los componentes de la estepa en su ADN; en cambio, los minoicos, no. Así pues, el componente de la estepa consiguió penetrar en los micénicos en la parte continental griega, pero no así en la isla de Creta, en los minoicos. Por consiguiente, el uso de diferentes lenguas en culturas vecinas puede explicarse con la inmigración de seres humanos; desde la estepa llegó, por lo visto, el micénico a Grecia y, por tanto, una lengua indoeuropea. El hecho de que en Creta se hable griego en la actualidad y de que la lengua lineal A se haya extinguido tiene quizá que ver con la erupción

de la isla volcánica de Santorini. Probablemente con ese suceso comenzó, hace 3600 años, la decadencia de los minoicos y la posterior toma de la isla por parte de los micénicos.

El minoico no fue ni de lejos la única lengua que fue reemplazada por otra indoeuropea. Así, por ejemplo, el etrusco, otra lengua transmitida con escritura, desapareció del actual norte de Italia con la marcha triunfal del Imperio romano. Por el contrario, otras dos lenguas no indoeuropeas de aquel tiempo se han conservado hasta la actualidad. Una es el paleosardo, en Cerdeña, donde los nombres de algunos pueblos, ríos y montañas no tienen ningún origen indoeuropeo. Otra es el vasco, que en la actualidad se habla en algunas tierras del norte de España y del sur de Francia. Hay otras lenguas no indoeuropeas de uso corriente en Escandinavia, en los estados bálticos, en el norte de Rusia y en Hungría. Sin embargo, esas lenguas ugrofinesas llegaron, según se cree, procedentes del norte de Asia una vez establecido ya el indoeuropeo en Europa; es probable que llegaran a Escandinavia en el II milenio a. C. y, en el I milenio d. C., al territorio de la actual Hungría, tal como sugieren algunos documentos históricos.

NADA DE ESLAVO EN GRAN BRETAÑA

Para responder a la pregunta acerca de las lenguas que hablaban los seres humanos en Europa antes de que se impusiera el indoeuropeo, merece la pena echar un vistazo al paleosardo y a los sardos, la única población en Europa descendiente genéticamente casi al cien por cien de agricultores anatolios. Dado que en sus genes no se encuentra casi ningún componente de cazadores y recolectores, esta es una clara señal de que en esta isla del Mediterráneo no vivía nadie o apenas nadie antes de la inmigración anatolia. Por consiguiente, un antepasado del paleosardo que probablemente se habló en Cerdeña hasta hace unos 2000 años, podría haber llegado a Europa hace 8000 años desde Anatolia. Sin embargo, de ahí no puede deducirse que todas las lenguas que se hablaban en Europa durante el Neolítico llegaron aquí hace 8000 años, ni tampoco que se conservaron las lenguas de los cazadores y recolectores. No obstante, ni tan siquiera puede suponerse que los anatolios se dirigieran con ánimo comunicativo a cazadores y recolectores, esto es, que adoptaran la lengua que quizá a sus ojos pertenecía a una cultura inferior. Todas las experiencias históricas y contemporáneas se pronuncian en contra de un escenario semejante. Con independencia de esto, los cazadores y recolectores podrían haber conservado la lengua propia en sus sociedades paralelas.

Así, por ejemplo, la lengua vasca se considera en ocasiones como un remanente de la época de los cazadores y recolectores europeos. Sin embargo, los datos genéticos no apoyan esta hipótesis. Ciertamente, los vascos poseen en efecto más ADN de cazadores y recolectores que los centroeuropeos, pero dominan con claridad los porcentajes de agricultores y esteparios. También los análisis genéticos de los campesinos vascos primitivos muestran un porcentaje muy elevado de genes anatolios, más elevado incluso que el de los habitantes actuales de esa región. Así pues, todo apunta a que el vasco, el paleosardo, el minoico y el etrusco llegaron realmente a Europa en el transcurso de la revolución neolítica. Sin embargo, quedará en secreto, para la posteridad y para siempre, cuántas lenguas hablaron los europeos en el pasado.

Ahora bien, ¿qué habla en verdad en contra de que los agricultores anatolios trajeran el indoeuropeo consigo? Sería simplemente ilógico. Dado que hace 5000 años tuvo lugar otra gran inmigración más, habría que responder a la pregunta sobre qué lengua debió de llegar al oeste con esa migración posterior. Algunos defensores del origen anatolio del indoeuropeo dicen que podría haber sido el eslavo, una rama de esta familia de lenguas. Según ese escenario, el indoeuropeo procedente de Anatolia se habría extendido hace 8000 años tanto hacia el oeste, hacia Europa, como hacia el norte, hacia la estepa póntica. Se formula la suposición de que mientras que en el Neolítico en Europa se desarrollaban las ramas lingüísticas indoeuropeas, en la estepa surgía en paralelo el eslavo, que llegó entonces hace 5000 años a Europa. Ahora bien, esta hipótesis no cuadra en absoluto con la prueba de que los inmigrantes procedentes de la estepa desplazaron en la actual Gran Bretaña al 90 por ciento de la población autóctona. Y, sin embargo, no existen en la actualidad indicios de influencias eslavas en las lenguas de la isla.

Digámoslo con claridad. En principio son concebibles tales rodeos, interacciones y desarrollos con desfase temporal en la evolución lingüística. Las lenguas rara vez van simplemente de A a B, para luego convertirse en C y en D. Lo mismo que con los genes de los seres humanos que los transportan, las lenguas se componen de las influencias más dispares. Nosotros seguimos esta premisa básica y también en nuestra teoría aparece la estepa como estación intermedia del indoeuropeo en fase de expansión, solo que de una manera diferente a la del modelo descrito.

LA LENGUA ES MATEMÁTICAS

Varios años de trabajo e innumerables debates acerca de los pros y contras de los diferentes planteamientos explicativos condujeron a nuestra teoría híbrida, que desarrollamos en colaboración con colegas el Instituto Max Planck para la Ciencia de la Historia de la Humanidad, ubicado en Jena. Para nuestro modelo empleamos los datos genéticos que habíamos recogido en los últimos años sobre las oleadas migratorias europeas de la Edad de Piedra y de la Edad del Bronce, y los combinamos con un método que hace posible echar un vistazo en el pasado de las lenguas. Se transfieren los procedimientos probados en la genética, pues para las lenguas es válido el mismo principio que para el ADN. Las lenguas sufren mutaciones con una frecuencia relativamente constante. A partir del ADN de dos individuos, un genetista puede deducir cuándo vivió su último antepasado común. Por su parte, en la lingüística se observan palabras con un estrecho parentesco, como, por ejemplo, el término alemán para «escalera», *Leiter*, y el inglés, *ladder*, y se deducen cuántas transformaciones fueron necesarias para llegar a ambas variantes a partir de un origen lingüístico común. Estas tasas de mutación se calcularon en miles de palabras de numerosas lenguas indoeuropeas y, a partir de ahí, elaboramos un árbol genealógico que mostraba cuándo se separaron las lenguas unas de otras. Ese árbol genealógico no tiene un aspecto muy diferente al de las poblaciones humanas: el alemán, el danés y el inglés poseen antepasados comunes más tardíos que, por ejemplo, el alemán y el italiano.

Russell Gray, un colega del Instituto de Jena, perfeccionó con otros colaboradores este procedimiento. Consiguió prolongar en el pasado el árbol genealógico de las lenguas que hasta entonces comenzaba con los primeros documentos escritos indoeuropeos. Para ello analizó las diferencias entre las lenguas indoeuropeas más antiguas conocidas (micénico, hitita, griego antiguo y latín antiguo) y de esa manera pudo calcular con qué frecuencia debieron de mutar desde su escisión. Según ese cálculo, la última antepasada común de todas las lenguas indoeuropeas se habló hace, aproximadamente, 8000 años.

Esa cifra quedó en el aire desde el año 2003 y, como es obvio, abogaba completamente por el movimiento hacia el oeste del indoeuropeo junto con los agricultores anatolios. Sin embargo, a la vista de los datos genéticos de estos últimos años, esa hipótesis no se podía ya sostener, puesto que las lenguas indoeuropeas, como todo el mundo sabe, no solo se hablan en Europa, sino también en la India, Afganistán y Pakistán. Es cierto que la agricultura se expandió desde la Media Luna Fértil hace, aproximadamente,

8000 años tanto hacia Occidente como hacia Oriente; ahora bien, si el indoeuropeo hubiera tenido sus raíces en esa época, los seres humanos tendrían que haber hablado tanto en el este como en el oeste de la Media Luna Fértil la misma lengua o idiomas estrechamente emparentados que con posterioridad habrían exportado en ambas direcciones. Hasta hace poco no había ningún motivo para dudar de que la Media Luna Fértil entre el actual Israel e Irán formaba después de todo una etnia unitaria; sin embargo, los datos genéticos indican que los habitantes orientales y occidentales de la Media Luna Fértil pertenecían a dos poblaciones muy distintas, que se diferenciaban, recordémoslo, tan claramente como los europeos y los chinos en la actualidad. Y, por esta razón, ambas poblaciones tienen que haberse escindido muchísimo tiempo antes y, con ellos, sus lenguas. Por consiguiente, el origen del indoeuropeo se remontaría a hace como mínimo 11 000 años y no a hace 8000 años. Ya no funcionaría la variante anatolia. Los defensores de la teoría de la estepa tuvieron un problema similar, pues en su modelo tampoco encajaban los 8000 años para la antepasada común de todas las lenguas indoeuropeas. Partían de la base de que la llamada cultura de Maikop, ubicada entre el mar Negro y el mar Caspio, era la representante de la lengua primigenia indoeuropea. Ahora bien, esa cultura no tiene una antigüedad mayor de 6000 años.

RAÍCES EN IRÁN

A pesar de todo, las lenguas indoeuropeas llegaron muy probablemente hace 5000 años a Europa procedentes de la estepa. Y es que en todas partes donde hoy se hablan lenguas indoeuropeas, hay un porcentaje significativo de ADN de la estepa o, dicho con más precisión, de aquel componente que durante el Neolítico emigró del actual Irán a la estepa póntica. Esto es válido para el actual Irán, para Afganistán, así como para Pakistán, y, por supuesto, para Europa. En el subcontinente indio, que alberga a una sexta parte de la población mundial, los habitantes del norte son portadores del componente de la estepa, que representa alrededor de una tercera parte de su ADN. En cambio, en el sur, el porcentaje es significativamente bajo. Esto encaja muy bien con la distribución de las lenguas. En el sur de la India predominan las lenguas drávidas, que no pertenecen a la familia indoeuropea. Por el contrario, en el norte se extiende una rama del indoeuropeo. Y en esa región está también la clave para hacer concordar el origen común de las lenguas indoeuropeas hace 8000 años con la inmigración a Europa de hace 5000 años.

La expansión de la agricultura desde la parte oriental de la Media Luna Fértil se denomina también «Neolítico iraní» porque, si bien es cierto que esta expansión tuvo lugar en paralelo con la de los agricultores anatolios, esta se produjo de forma independiente. Por aquel entonces, seres humanos del actual Irán avanzaron en dirección este hasta el norte de la India, y en dirección norte a través del Cáucaso. Hace unos 8000 años, los neolíticos iraníes se convirtieron, por consiguiente, en los antepasados de los habitantes actuales de Pakistán, Afganistán, el norte de la India y de los miembros de la cultura yamna. Es así como el indoeuropeo podría haber llegado a todas estas regiones. Hace 5000 años entró entonces en Europa con los miembros de la cultura yamna. Así pues, el indoeuropeo tuvo su origen en la Media Luna Fértil, tal como postulan los partidarios de la teoría anatolia, pero no en la Anatolia occidental ni central, sino en el norte de Irán. Los defensores de la hipótesis de la estepa tenían probablemente razón al suponer que el indoeuropeo llegó a Europa desde la estepa, solo que no se originó allí.

Anatolia desempeña un papel destacable en la historia de la lengua indoeuropea en nuestro modelo. Hace 8000 años entraron en Europa, según parece procedentes de allí, las lenguas del Neolítico. En la misma Anatolia quedaron desplazadas con toda probabilidad las lenguas de los agricultores anatolios cuando, tal como muestran los datos genéticos, hace unos 6000 años los neolíticos iraníes se expandieron por la región. Por tanto, en Europa podrían haber prevalecido las lenguas que se remontan a los inmigrantes anatolios, mientras que la misma Anatolia ya había adoptado el indoeuropeo. En la actualidad, Turquía es uno de los países en los que solo una minoría de sus habitantes habla lenguas indoeuropeas. El territorio de las lenguas túrquicas, de las que el turco es un subgrupo, se extiende desde Turquía, pasando por Azerbaiyán y Uzbekistán, hasta la región de Altái. Para Anatolia llegó el comienzo del fin en la historia del indoeuropeo cuando en el siglo XI guerreros hablantes de lenguas túrquicas comenzaron a conquistar esas tierras. De todos modos, casi el 20 por ciento de los habitantes de la actual Turquía hablan lenguas indoeuropeas, entre ellas el kurdo y el zazaki.

LA LENGUA COMO INSTRUMENTO DE DOMINACIÓN

Después de la inmigración de la estepa se desarrollaron en el norte y en el centro de Europa las lenguas germánicas, a las que pertenece, además del inglés y del alemán, también, por ejemplo, el afrikáans, que se originó con la colonización del sur de África y que todavía se sigue hablando allí en la

actualidad. Hay que mencionar también las lenguas itálicas con el latín vulgar, al que se remontan todas las lenguas románicas actuales. Luego está el grupo balto-eslavo y el celta, que se ha conservado en algunos rincones de las islas británicas y en la Bretaña y que probablemente en el periodo de la cultura del vaso campaniforme se hablaba en amplios territorios de Europa occidental hasta que el Imperio romano lo desplazó hacia el noroeste. Además, el albanés y el armenio desempeñan un papel especial, porque son los únicos representantes de su forma de indoeuropeo, es decir, son subgrupos directos sin más ramificaciones. De la familia lingüística helena solo sigue vivo en la actualidad el griego. Por último, de Oriente Próximo es oriunda la gran rama indoirania del indoeuropeo.

Con tres mil millones de hablantes, la familia lingüística indoeuropea es la más importante en todo el mundo; a consecuencia de la colonización debida a los europeos se extiende desde Australia, pasando por territorios del sur de Asia y de África, donde las lenguas europeas están presentes como mínimo como segundas lenguas, hasta el doble continente americano. De la rapidez con la que evoluciona una lengua puede darse cuenta cualquiera que intente entender el inglés hablado en la India, por no mencionar el hindi, que se cuenta también entre las lenguas indoeuropeas. También el francés de Francia se diferencia del francés que se habla en los territorios de ultramar o en África, al igual que ocurre con el español.

Si una lengua fuera estática, en la actualidad podríamos emprender un extenso viaje en InterRail por el sur de Europa usando el latín o, mejor aún, el protoindoeuropeo. En lugar de eso, muchos padres y muchas madres tienen que constatar con frustración que en ocasiones no pueden seguir siquiera los diálogos de sus hijos e hijas adolescentes. De todas maneras, las lenguas no se transforman en la actualidad, ni de lejos, a la velocidad con que lo hacían en otras épocas, porque ya desde hace mucho tiempo se sentaron las normas del lenguaje culto. El español, por ejemplo, es una lengua muy estable desde hace 500 años gracias a una fijación temprana de su escritura. En Alemania comenzó este desarrollo con la traducción que Lutero hizo de la Biblia; posteriormente se estableció una «ortografía» en el siglo XIX con el *Duden*. Las lenguas estándares como las que dejan su impronta en la actualidad sobre Europa están muy alejadas de las raíces comunes indoeuropeas. A causa del dominio del inglés, podría volver a existir de nuevo una tendencia hacia la aproximación de las lenguas después de una época larga de escisiones.

Hace 5000 años, la migración transformó de manera decisiva por última vez el paisaje lingüístico de Europa. Los romanos, qué duda cabe, difundieron

su lengua románica entre el Atlántico y el mar Negro, pero no emigraron en masa hacia esos territorios. La gran inmigración procedente de la estepa tuvo para la lengua de los europeos la misma importancia que para sus genes: por aquel entonces se colocaron los cimientos para la casa que seguimos habitando en la actualidad. Sin embargo, su ampliación no la determinaron las inmigraciones, sino los grandes imperios que se originaron desde el III milenio a. C. y que moldearon la historia posterior de Europa. Comenzaba la Edad del Bronce.

7

Estructuras patriarcales

Europa consigue dar el salto desde la Edad de Piedra. El padre lo hereda todo; las hijas abandonan el poblado. La forma más inocente de sociedad de consumo.
Se acabaron los espacios sin ley.

Yacimientos de estaño en la Edad del Bronce
Yacimientos de cobre en la Edad del Bronce
Mar del Norte
Mar Báltico
Océano Atlántico
Valle del Tollense
Disco celeste de Nebra
Cultura de Unetice
Augsburgo
Alpes
Pirineos
Mar Mediterráneo
5.000
4.800
4.600
4.400
4.200
4.000
3.800
3.600
3.400
3.200
años
Cultura de Unetice
Imperio acadio
El disco celeste de Nebra
La batalla del valle del río Tollense
Inmigración procedente de la estepa
En la Europa central comienza la Edad del Bronce y el comercio intensivo de materias primas

Estructuras patriarcales
C. Cárpatos
Mar Negro
Cáucaso
Mar Caspio
Montes Tauro
Montes Zagros
Babilonia
Ur
Asirios
(Acad, hace
4.300-4.200 años)
Mar Mediterráneo
0
300 km

El progreso mediante el bronce

La convulsión genética causada por los inmigrantes procedentes de la estepa fue quizá la mayor que este continente haya experimentado jamás. Por ello resulta tanto más sorprendente que al principio no se materializara ninguna revolución cultural. No cabe duda de que existe una brecha de 150 años en los hallazgos arqueológicos, que aviva todo tipo de suposiciones acerca de lo que pudo pasar en ese intervalo de tiempo. Sin embargo, la vida continuó después durante un buen tiempo como antes. Los nómadas de la estepa se convirtieron en agricultores establecidos, vivían de una manera muy similar a sus predecesores, incluso sus poblados se asemejaban a los anteriores. Entonces, hace 4200 años, con la Edad del Bronce, comenzaron en la Europa central unas transformaciones culturales que catapultaron el continente hacia una nueva era. Sin embargo, al contrario que a la revolución neolítica, a esta nueva época no le precedió ninguna migración, sino que la introdujeron aquellos seres humanos que en los 600 años anteriores habían dejado su impronta en la cultura de la cerámica cordada y en la cultura del vaso campaniforme. Desde el punto de vista de la genética, todo prosiguió sin cambios, pero desde el cultural no quedó piedra sobre piedra.

Se denomina «Edad del Cobre» a la fase de transición entre la Edad de Piedra y la Edad del Bronce. En ese periodo, los seres humanos explotaban la minería y extraían de la tierra el blando material rojizo; en Europa eso ocurrió por primera vez en los Balcanes. Por tanto, el progreso llegó por la misma dirección que lo habían hecho antes la agricultura y la cerámica, y esta última fue una condición previa para la elaboración del cobre. Para procesar este material se precisaba de elevadas temperaturas, para las cuales resultaban imprescindibles los hornos de cerámica. Sin embargo, la extracción y el procesamiento del cobre fueron solo una tecnología puente. Con este material podían fabricarse desde luego joyas y armas ligeras, pero después de la forja seguía siendo moldeable. La dureza llegó gracias al estaño, que los seres humanos alearon con el cobre para conseguir finalmente el bronce. Hace 5000 años, esta tecnología se expandió primero por Oriente Próximo. Este nuevo metal allanó el camino hacia el futuro porque ahora se abrían posibilidades completamente nuevas para fabricar armas, herramientas o aperos para el trabajo agrícola. El bronce no fue para los humanos un mero material nuevo, sino que significó la puerta de entrada a una esfera de producción desconocida hasta entonces.

El descubrimiento del cobre y el desarrollo del bronce fueron los requisitos determinantes (aunque no los únicos) para las primeras civilizaciones avanzadas, cuyos fundamentos quedaron establecidos ya en el IV milenio a. C. en Oriente Próximo y en la región mediterránea, mientras que en los territorios de la Europa central y septentrional, los cazadores y recolectores seguían recorriendo los bosques. A orillas de los ríos Éufrates y Tigris surgían ciudades como Ur y Babilonia; en Egipto florecía el Imperio de los faraones; en Anatolia, el de los hititas; y un poco más tarde, los minoicos y los micénicos fundaban las primeras civilizaciones avanzadas en Europa.

El norte estaba atrasado económicamente, pero no se encontraba aislado. Durante el III milenio a. C., las sociedades de Europa intensificaron sus relaciones comerciales, y el bronce desempeñó un papel central. En el sur se desarrolló sin duda la técnica de la producción del bronce, pero el estaño escaseaba allí. Esta materia prima se concentraba en territorios alejados de los centros de las primeras civilizaciones avanzadas; se localizaba principalmente en Cornualles, en el extremo sudoeste de Inglaterra, en la Bretaña, en el noroeste de la península Ibérica y en los montes Metálicos. Así se originó de forma natural un intercambio vivo. El estaño iba al sur de Europa; como contrapartida el conocimiento en torno al procesamiento del bronce avanzaba por el norte y el oeste de Europa. Este material y los productos elaborados a partir de él transformaron, cada vez con una mayor intensidad, la vida de las sociedades, de las familias y de los individuos. La transición a un mundo de la propiedad, de la jerarquía y del patriarcado puede atestiguarse también desde la genética, por ejemplo, a orillas del río Lech, cerca de Augsburgo.

El invento del patriarcado

Esta región, como la actual Alemania central, era una de las pocas en Europa donde vivían seres humanos tanto de la cultura del vaso campaniforme como también de la cultura de la cerámica cordada. Ambos grupos tenían sus propios asentamientos, sus costumbres, sus ritos funerarios y puede que asimismo sus propias lenguas. A partir, aproximadamente, del año 2200 a. C., ambas culturas (con excepción de Gran Bretaña, donde los miembros de la cultura del vaso campaniforme se mantuvieron hasta más o menos el año 1800 a. C.) realizaron una transición hacia sociedades nuevas y se fusionaron en parte para formar, por ejemplo, la denominada cultura de Unetice, cuyo centro se hallaba en la Alemania central y que dejó a la posteridad el conocido disco celeste de Nebra fabricado con bronce. Además, en la región a

orillas del río Lech se desarrolló en aquella época una cultura de la Edad del Bronce antiguo.

Probablemente, el estilo de vida a orillas del río Lech, en la Alemania meridional, era similar al de otros lugares de la Europa central por aquella época. Los seres humanos vivían en granjas, la mayoría de las cuales se componían de una casa, una construcción agrícola auxiliar y un establo. Enterraban a sus muertos en cementerios próximos a las granjas. En la actualidad, 4000 años más tarde, el ADN oculto en las tumbas nos ayuda a comprender las condiciones de vida de entonces. Investigamos el ADN de decenas de seres humanos enterrados en los asentamientos del río Lech; fallecieron entre los años 2500 y 1500 a. C., es decir, en la fase de transición hacia la Edad del Bronce. Secuenciamos su genoma y sometimos sus dientes al denominado «análisis de los isótopos de estroncio». Este método aprovecha el hecho de que al esqueleto humano llegan formas del elemento químico estroncio en diferentes proporciones dependiendo de la alimentación (plantas y animales) en cada región. Dado que los seres humanos se abastecían en tiempos pasados únicamente de fuentes de alimentación locales, la concentración de este isótopo nos revela de qué territorio provenía una persona. Como determinadas partes del esqueleto (por ejemplo, el esmalte dental de las muelas) se forman ya durante la infancia y el estroncio está vinculado a ese proceso, aquel nos revela, además, si una persona pasó toda su vida en el mismo lugar o si acostumbraba a cambiar de residencia. Este procedimiento no funciona con los seres humanos actuales porque la mayor parte de nuestra alimentación no procede de nuestro entorno inmediato.

Realizamos el análisis de isótopos de estroncio en 83 seres humanos enterrados a orillas del río Lech (26 hombres, 28 mujeres y el resto niños y niñas). Habría podido esperarse entre las personas adultas de ambos sexos una proporción similar de autóctonos y de foráneos, pero no fue así. En el caso de las mujeres, diecisiete de ellas, es decir, casi tres cuartas partes, eran de fuera; en el caso de los hombres, solo uno. Ese claro predominio de mujeres foráneas, que debieron de llegar en los últimos años de su adolescencia a los poblados del río Lech, no puede explicarse por el azar, sino solo por un intercambio intencionado entre esas regiones. Si los asentamientos investigados eran realmente típicos de la Edad del Bronce antiguo, eso indica una relación del todo nueva entre los sexos en esa época. Mientras que los hombres permanecían en sus poblados, las mujeres con las que se casaban provenían de fuera con una elevada frecuencia. Se estableció, al parecer, una jerarquía a la cabeza de la cual estaban los hombres. Muchas esposas

provenían de otros territorios foráneos, y a ellos parece también que se solía enviar a las propias hijas en edad de casarse.

Sin embargo, a partir de los ritos funerarios no puede interpretarse ninguna discriminación hacia las mujeres. Como madres de familia recibían ofrendas funerarias en la misma medida que sus maridos. En cambio, a los difuntos que no estaban emparentados con los demás fallecidos solo se les concedían, en el mejor de los casos, unas escasas ofrendas funerarias. Por tanto, tenían un estatus social claramente más bajo que los demás moradores de los asentamientos y, quizá, eran trabajadoras y trabajadores venidos de fuera. Así pues, los hogares tenían una estructura similar a la que desarrollarían posteriormente griegos y romanos, y se componían de núcleos familiares y siervos o jornaleros. Con el análisis del ADN fue posible confirmar en algunas tumbas familiares a hombres de cinco generaciones consecutivas. Al parecer, los hijos varones heredaban las granjas de sus padres varones. No puede detectarse por vía genética si estas las heredaban los primogénitos. En cualquier caso, sí se encontraron varios hermanos varones en las tumbas; los más jóvenes podrían haber fundado también, como es natural, sus propias granjas en los poblados o en sus cercanías. Los datos genéticos dan testimonio de estructuras patriarcales y jerárquicas que por lo visto se impusieron en la Edad del Bronce y que aún marcan las convenciones familiares y sociales en la actualidad.

Sociedad de consumo y producción en masa

Con la Edad del Bronce comenzó una nueva era, no solo a orillas del río Lech, sino en toda Europa. Antes del descubrimiento del cobre, los seres humanos, además de los materiales siempre presentes, como la piedra y la madera, procesaban sobre todo la arcilla (la producción de cerámica no era nada trivial, pero tampoco se trataba de ninguna alta tecnología). En cambio, el desarrollo del bronce significó un enorme salto tecnológico y social. Excavar bajo tierra en busca de materias primas y luego crear una aleación de estaño y cobre en unos hornos extremadamente calientes solo podía funcionar con una especialización creciente. Para ello se necesitaban mineros, constructores de hornos, metalúrgicos y comerciantes viajeros que fuesen a buscar el estaño a los confines de Europa.

En cambio, el Neolítico anterior había sido una época en la que todos eran capaces de hacer todo. Los conocimientos sobre la agricultura y la ganadería estaban ampliamente difundidos, como máximo existían algunos expertos

elegidos para la fabricación de la cerámica, pero ni siquiera ellos poseían un saber que los distinguiera del resto de la comunidad. La gente de la Edad de Piedra apenas sabía qué era la escasez de recursos en la fabricación de utensilios y por regla general disponía de suficiente madera y de las piedras apropiadas para sus herramientas y sus armas. Estos agricultores primitivos vivían, por consiguiente, en la forma más inocente de la sociedad de consumo, utilizaban casi todo lo que fabricaban, y lo que poseían tenía un valor que se podía abarcar con la vista. Había también excepciones, claro está, por ejemplo, en los adornos de oro y plata presentes en algunos individuos. Sin embargo, no existen indicios arqueológicos de una concentración de tales elementos valiosos en manos de individuos o de familias, al menos no en la Europa central.

De modo diferente a la piedra y a la madera, el bronce no estaba disponible así sin más en la naturaleza, sino que había que fabricarlo con esfuerzo, y antes que nada había que conseguir las materias primas, en territorios foráneos o propios. Las regiones con yacimientos de cobre se enriquecieron, y aquellas que en sus tierras poseían el estaño, aún más escaso, prosperaban. Con el estaño de Cornualles se comerciaba en toda Europa, del mismo modo que con el cobre y el estaño de los montes Metálicos. Ya había existido anteriormente un comercio suprarregional, pero ahora funcionaba a pleno rendimiento. Las regiones de Europa se encontraban en un intercambio cada vez más animado; el comercio impulsaba el desarrollo. La disponibilidad limitada de materias primas y los conocimientos especializados intensificaron la competencia entre las sociedades y entre los individuos. Quien poseía bienes trataba de defenderlos; quien no, hacía todo lo posible por conseguirlos.

Aparte del descubrimiento de este material, la gran novedad de la Edad del Bronce fue, sobre todo, la posibilidad de fabricar productos en masa a partir de él. Se crearon moldes de fundición con piedras y, valiéndose de ellos, se fabricaron productos completamente idénticos. Hasta entonces no había existido nada similar. Un vistazo a los artefactos de cerámica de la Edad de Piedra nos lo muestra con toda claridad. Para comprender cómo el invento de la fabricación en serie debió de afectar a los seres humanos de entonces, lo mejor es imaginarnos lo que ocurriría en la actualidad en el caso contrario, esto es, encontrarnos con que cada martillo del mercado más cercano de materiales para la construcción poseyera de repente una forma distinta. Por aquella época, las mercancías no solo parecían idénticas, sino que además eran mucho más resistentes que todas las anteriores. Podemos imaginar muy

bien para qué emplearon los humanos, en primer lugar y con todo detalle, esta nueva técnica. Se dedicaron a fabricar armas más efectivas.

El final de la lucha individual

Sin duda ha habido instrumentos de todo tipo para matar desde tiempos inmemoriales. Para la caza, los seres humanos fabricaron espadas, lanzas, arcos y flechas, y también pequeñas dagas de madera y de piedra. Ya el cobre hizo posible la fabricación de cuchillos y hachas de mayor calidad, pero que, debido a las propiedades del material, no superaban una determinada longitud. Solo con el bronce llegaron al mundo las armas largas y punzantes, sobre todo las dagas, a las que se añadieron espadas y lanzas nuevas. Gracias al bronce no solo se podía matar mejor, sino también defenderse de una manera más efectiva, por ejemplo, con yelmos, escudos, corazas o grebas. Dado que estos costosos equipamientos no estaban al alcance de todos los guerreros, siguió aumentando la tendencia hacia la desigualdad. Los combatientes bien armados eran claramente superiores, aunque sus rivales pudieran enviar a más hombres al campo de batalla. La Edad del Bronce debió de poner en marcha, de una manera casi forzada, la carrera armamentista.

Los conflictos bélicos se volvieron más frecuentes, pues al fin y al cabo había también más elementos que conquistar y que defender. Paradójicamente, ese aumento drástico de la producción de armas podría haber hecho más seguro el día a día, en todo caso el de aquellos que no luchaban por su vida como soldados. En el Neolítico, algunas aldeas de la Europa central se habían caracterizado por tener grandes fortificaciones, detrás de las cuales sus moradores se protegían de los atacantes que deseaban apoderarse de sus tierras de cultivo y de pastoreo. En muchos asentamientos de la Edad del Bronce antiguo faltaba por completo esa protección, como, por ejemplo, en las granjas situadas a orillas del río Lech que se alineaban a lo largo de la ribera y que ni siquiera estaban delimitadas con cercas. Unos mil años antes, semejante forma de asentamiento habría sido extremadamente insensata, porque sus moradores habrían estado a merced de sus enemigos. Sin embargo, las gentes a orillas del río Lech y de otros poblados debían de sentirse seguras.

Esto tiene su explicación más rápida en el establecimiento de estructuras militares, de cuya existencia se tienen indicios por primera vez al comienzo de la Edad del Bronce. Soberanos territoriales, a menudo denominados

«príncipes», podrían haber asegurado la protección de las distintas regiones. Tal vez cobraban a los habitantes en contrapartida algunos tributos, con los cuales no solo financiaban su estilo de vida, sino asimismo a sus guerreros. A los célebres luchadores solitarios los reemplazaron soldados de a pie armados con hachas y lanzas, bajo el mando del príncipe. Los soberanos podrían haber recurrido a mercenarios o, en caso de guerra, haber convocado y armado a los campesinos de los asentamientos. La protección ante enemigos externos iba acompañada de la obediencia frente al soberano, quien, como es natural, podía utilizar sus armas contra los enemigos internos. De esta manera se perfilaron un primer monopolio estatal para el uso de la violencia y el final de los territorios potencialmente sin ley. El patriarcado en las granjas encaja bien en este panorama, ya que aquí se reflejó en miniatura el contrato social. Todos estaban subordinados al señor de la casa y, en contrapartida, él era quien, en caso de guerra, iba al campo de batalla y, llegado el caso, pagaba con su vida por la seguridad de sus allegados.

Los soberanos se hallaban quizá en constante competencia con otros principados, pero en un estado de guerra casi permanente. Al fin y al cabo lo importante era sacar provecho del comercio y mantener en un grado elevado la productividad de su propia población. Los soberanos debieron de haber intercambiado información entre ellos para aclarar cuestiones relativas al comercio y a las esferas políticas influyentes. Ya por entonces, las guerras debían de ser el último recurso y probablemente se desencadenaban solo cuando existían buenas posibilidades de victoria y había valiosas tierras o fuentes de materias primas por conquistar.

Mediante la concentración del poder y de los recursos se originaron reinos más grandes, más prósperos y más poblados de los que se habían conocido hasta entonces. Un paradigma de este estado de cosas fueron los miembros de la cultura de Unetice. En los, aproximadamente, 700 años que se mantuvo esta cultura, los príncipes parecen haber sido vistos como seres semejantes a los dioses o, en todo caso, eso es lo que parecen indicar sus tumbas y sus ofrendas funerarias, que se caracterizan por contener numerosas armas y grandes cantidades de oro. En claro contraste estaban las tumbas de los sencillos campesinos, en las cuales no se hallaban armas; los guerreros tampoco eran enterrados como los príncipes que yacían relajados en sus sepulturas, sino en cuclillas. Al parecer, el hombre sencillo perdió en la cultura de Unetice el derecho a la posesión individual de las armas; en cambio, era el príncipe quien acaparaba las hachas y las dagas para repartirlas en caso de guerra. En muchos territorios de Europa se han sacado a la luz

acopios de armas de esta época. En parte se componían de cientos de dagas, lanzas y hachas. El hecho de esconder esos depósitos de armas sugiere que los soberanos querían impedir así que sus súbditos se alzaran contra ellos. Esos depósitos de armas podrían deberse también a la preocupación de que los campesinos pudieran refundir las espadas para convertirlas en rejas de arado.

LA MEDIA LUNA FÉRTIL

El III milenio a. C. se convirtió (y no en última instancia debido al veloz progreso técnico) en un periodo de movilidad y de intercambio, pero también de conflictos bélicos que, gracias a las nuevas armas, se disputaban ahora con una eficiencia letal desconocida hasta entonces. Además, el clima enloqueció. La causa fue el hito climático de hace, aproximadamente, 4200 años (conocido como suceso climático 3 del kiloaño 4,2 AP). En la zona norte del Mediterráneo, el clima se volvió en esa época más húmedo; en el norte de Europa, más frío y más seco. En Oriente Próximo, este cambio climático ocasionó trastornos políticos y el colapso de sociedades desarrolladas, especialmente en los territorios de los actuales Irán e Irak. El Imperio acadio situado en esa región se desmoronó en solo unas décadas, y sus habitantes lucharon por su supervivencia. En los 300 años en que se prolongó el periodo de sequía, tuvieron que abandonar sus poblados unas trescientas mil personas según estimaciones arqueológicas. Para contener a los refugiados climáticos, durante la III dinastía de Ur se levantó en el sur un muro de varios cientos de kilómetros. Este muro no pudo evitar que la dinastía se derrumbara en el año 2000 a. C. y que la gran civilización sumeria alcanzara su punto final. Los seres humanos a los que se quiso mantener alejados del territorio con la construcción del muro aparecieron más al norte al final de ese periodo de sequía para formar una floreciente civilización que, con posterioridad, conquistaría el predominio sobre toda la región: Babilonia.

Las turbulencias del suceso climático 3 del kiloaño 4,2 AP y la consiguiente crisis de refugiados son solo un ejemplo de cómo la Edad del Bronce redefinió muchas estructuras sociales, con frecuencia en perjuicio de las personas. En el siguiente II milenio a. C., las guerras se convirtieron en un recurso regular de ejercicio del poder, con todos los efectos secundarios que conocemos en la actualidad. Los adversarios derrotados eran asesinados o esclavizados, se desarrollaron sistemas armamentísticos cada vez más mortíferos. Había deportaciones, genocidios, violaciones. Los soberanos de los grandes imperios, que seguían concentrándose en la zona oriental del mar

Mediterráneo, enviaban a la batalla a ejércitos de decenas de miles de hombres, con carros de combate desde los cuales abatían a sus adversarios a través de grandes distancias. En resumen, el mundo se convirtió en un lugar más complicado para vivir, los conflictos se volvieron más letales, no solo en la región mediterránea, sino también, por ejemplo, en el valle del río Tollense, en el estado federado alemán de Mecklemburgo-Pomerania occidental, donde, aproximadamente, en el año 1300 a. C., se lanzaron entre dos mil y seis mil hombres unos contra otros, tal como indican los hallazgos arqueológicos. Después, cientos de cadáveres en descomposición convirtieron el valle en un escenario del horror.

Sentadas las bases

La arqueogenética en Alemania a comienzos del año 2019 no ha penetrado mucho todavía en el presente, más acá de la Edad del Bronce. Si tenemos en cuenta en qué situación se hallaba esta disciplina cuando comenzó no hace siquiera diez años, el camino recorrido es ya considerable. En ese tiempo se ha ofrecido un nuevo relato acerca del origen de los europeos y de su interacción con los neandertales, se han explicado las raíces de la revolución neolítica y se ha demostrado que a la Edad del Bronce le precedió una inmigración procedente de la estepa que muy pocos habían considerado posible.

Ahora sabemos que los desplazamientos genéticos como los que experimentó el continente hace 8000 y 5000 años no han vuelto a producirse desde entonces. Esa situación no la cambiaron los gigantescos imperios que florecerían y desaparecerían en Europa con el transcurso del tiempo. Los celtas, que en sus mejores tiempos dominaron casi toda Europa al norte de los Alpes, la península Ibérica y hasta algunas partes de Anatolia y que fomentaron un vivo intercambio comercial en estos territorios, dejaron intactos en su mayor parte los fundamentos genéticos. Los romanos, que gobernaron un imperio aún mayor y que intensificaron aún más la movilidad, como todo el mundo puede comprobar en sus obras, tampoco transformaron decisivamente el ADN de los europeos, pero sí, en cambio, las estructuras sociales.

A pesar de todo, es posible detectar incluso los movimientos migratorios más recientes, pero mediante un procedimiento radicalmente distinto en cuyo desarrollo colaboró nuestro instituto y que desde hace poco tiempo nos ayuda a comprender mejor los movimientos internos en Europa durante estos

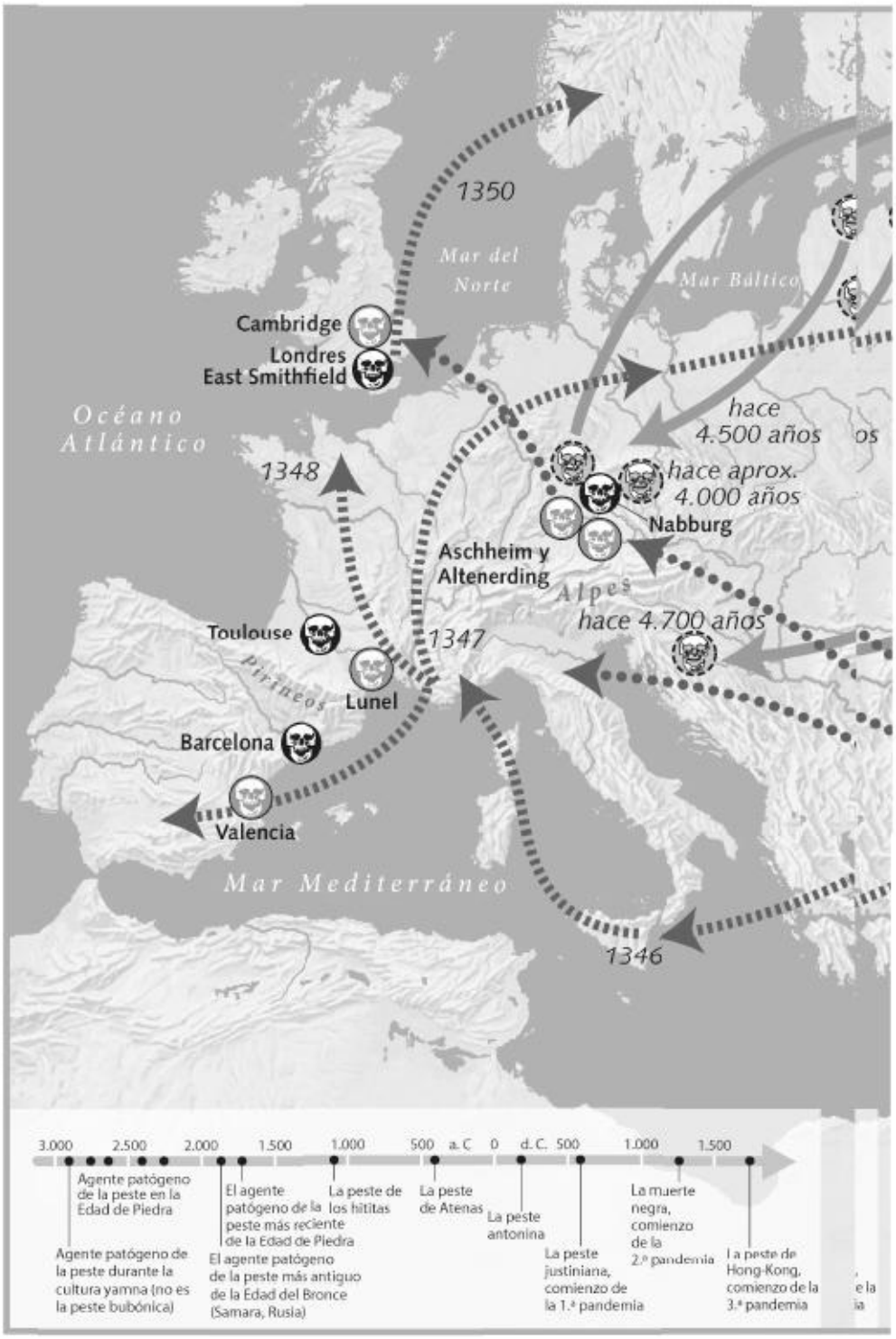
últimos dos milenios. Este método no se centra ya en los elementos comunes básicos de los genomas que demuestran un parentesco entre poblaciones, sino en aquellas escasas variaciones genéticas por las que se distinguen unos grupos de otros. De esta manera, por ejemplo, se consiguió probar con datos genéticos una de las migraciones más conocidas, la de los anglos y los sajones hacia la actual Inglaterra. Quedó demostrado que los británicos actuales se remontan en más de un 30 por ciento a los inmigrantes procedentes de los territorios de los Países Bajos, Dinamarca y Baja Sajonia, que llegaron a la isla en el siglo V. Seguramente, los estudios arqueogenéticos como ese caracterizarán la historiografía de Europa en los próximos años; sobre el fundamento de métodos de análisis de ADN más ajustados, podremos describir también los movimientos migratorios posteriores a la Edad del Bronce. Serán posibles muchos nuevos conocimientos en detalle, en particular para el periodo de las invasiones germánicas y de la Alta Edad Media.

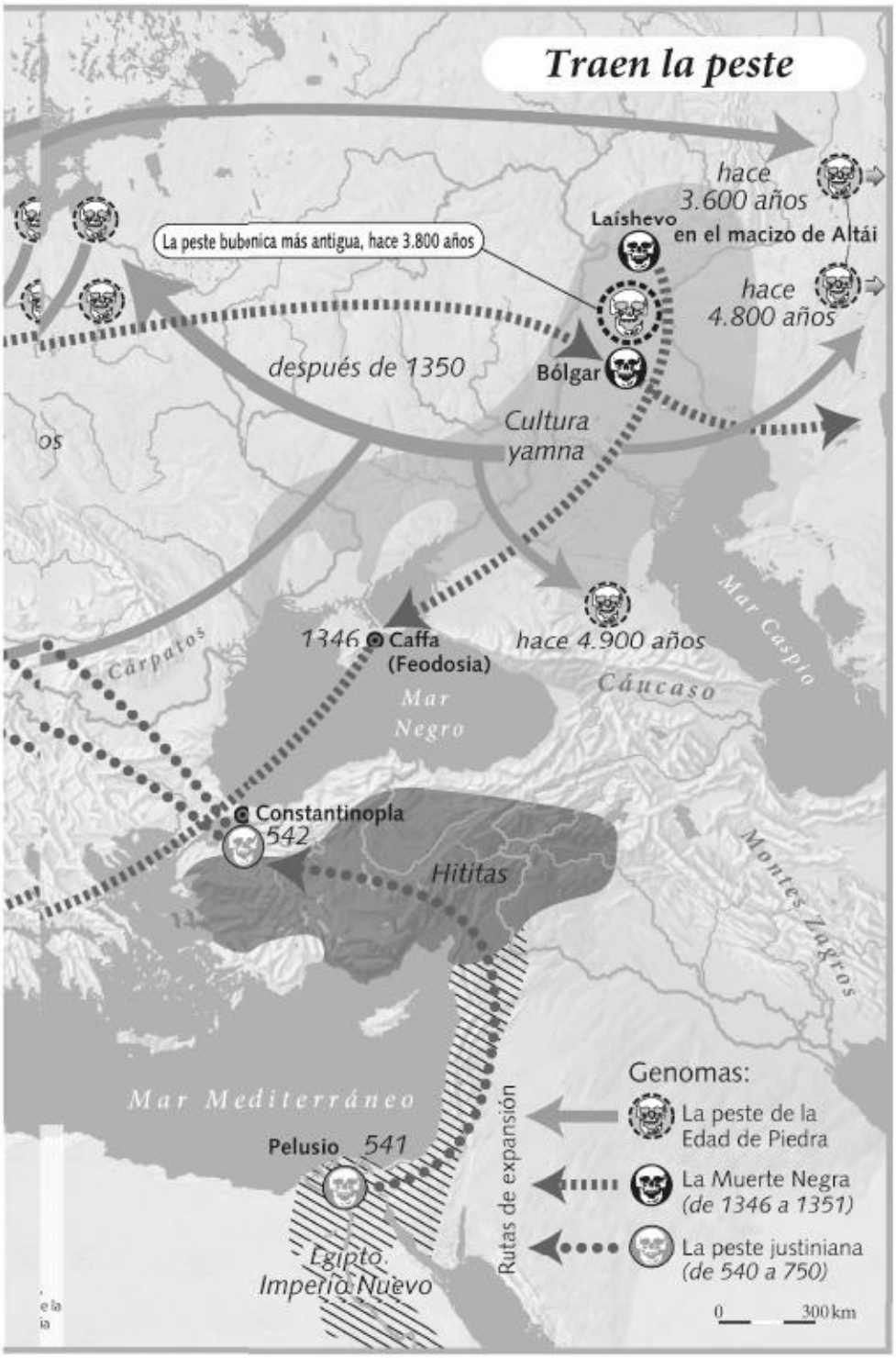
Como es natural, con ello no queda completado el relato del viaje genético de los europeos. Muchos indicios sugieren que las oleadas migratorias en y hacia Europa (a la cabeza de las cuales se halla la importante procedente de la estepa) están muy estrechamente relacionadas con la historia de las enfermedades en Europa. Y es que al viaje de los genes humanos le siguió ya en una fase muy temprana un reguero de virus y de bacterias que marcaría la historia del continente, y tal vez de una manera más intensa de la que habría sido capaz cualquier soberano. Esos adversarios eran invisibles para los seres humanos hasta hace poco, y gracias a los análisis genéticos comenzamos de forma paulatina a comprender mejor a esas pequeñas bestias.

8

Traen la peste

La pulga vomita sangre. El Pentágono ofrece una ayuda inicial. La peste viene de Oriente. Terribles sospechas recaen sobre los caballos. Fragmentos de cadáveres volando por los aires. Europa cierra sus fronteras. Ratas foráneas traen la salvación.


1350
Mar del Norte
Mar Báltico
Cambridge
Londres
East Smithfield
Océano Atlántico
1348
hace 4.500 años
hace aprox. 4.000 años
Nabburg
Aschheim y Altenerding
Alpes
hace 4.700 años
Toulouse
1347
Pirineos
Lunel
Barcelona
Valencia
Mar Mediterráneo
1346
3.000
2.500
2.000
1.500
1.000
500 a. C
0
d. C. 500
1.000
1.500
Agente patógeno de la peste en la Edad de Piedra
Agente patógeno de la peste durante la cultura yamna (no es la peste bubónica)
El agente patógeno de la peste más reciente de la Edad de Piedra
El agente patógeno de la peste más antiguo de la Edad del Bronce (Samara, Rusia)
La peste de los hititas
La peste de Atenas
La peste antonina
La peste justiniana, comienzo de la 1.ª pandemia
La muerte negra, comienzo de la 2.ª pandemia
La peste de Hong-Kong, comienzo de la 3.ª pandemia


Traen la peste
hace
3.600 años
Laíshevo
en el macizo de Altái
La peste bubónica más antigua, hace 3.800 años
hace
4.800 años
después de 1350
Bólgar
Cultura
yamna
os
Cárpatos
1346 Caffa
(Feodosia)
hace 4.900 años
Mar Caspio
Cáucaso
Mar
Negro
Constantinopla
542
Hititas
Montes Zagros
Mar Mediterráneo
Pelusio 541
Egipto.
Imperio Nuevo
Rutas de expansión
Genomas:
La peste de la
Edad de Piedra
La Muerte Negra
(de 1346 a 1351)
La peste justiniana
(de 540 a 750)
0
300 km

El ser humano es el nuevo murciélago

Ninguna otra enfermedad en la memoria histórica colectiva de Europa evoca, ni de lejos, el estremecimiento atroz que provoca la peste. Hay muchos y buenos motivos para ello, y el hecho de que todavía en la actualidad enfermen de ella cada año en todo el mundo entre dos mil y tres mil personas es más bien uno de los de menor rango. La peste debe su endemoniada fama sobre todo a la plaga del siglo XIV, cuando la «muerte negra» mató cruelmente, según los cálculos, a uno de cada tres europeos, quizá incluso a dos de cada tres, tal como relatan los informes históricos acerca de pacientes que escupían sangre y de calles atestadas de cadáveres. Muchos contemporáneos dieron por hecho que la enfermedad acabaría extinguiendo a la humanidad. Relatos similares se nos han transmitido sobre la peste justiniana, registrada por primera vez en el siglo VI en Egipto y que se extendió rápidamente por toda la zona mediterránea. La enfermedad devastó Europa una y otra vez durante muchos siglos; hay miles de brotes documentados. La peste era un azote para la humanidad, que no perdió el terror ante ella hasta hace algo más de cincuenta años con el empleo generalizado de antibióticos. Solo recientemente y gracias a los análisis genéticos sabemos desde dónde llegó la peste a Europa. Hemos averiguado, sobre todo, que ya llevaba propagándose por aquí mucho antes de lo que se había supuesto hasta entonces; con toda probabilidad, su brote en la Edad de Piedra allanó el camino a la gran inmigración procedente de la estepa póntica.

La peste fue un fantasma durante mucho tiempo para la ciencia. Sin duda se tenía noticia de la pandemia, es decir, de aquella gran epidemia que asoló a muchos países entre los años 1347 y 1353, pero no se sabía si la responsable era, en efecto, la bacteria *Yersinia pestis* u otro agente patógeno, como, por ejemplo, la viruela. En el año 2011 desciframos en el Instituto de Tubinga por primera vez el genoma de un agente patógeno histórico que encontramos en Londres, en una fosa común de la Edad Media. Esta ciudad resultó especialmente afectada por la peste negra; en las fuentes escritas consta que las víctimas de la epidemia habían sido enterradas en el cementerio de East Smithfield. El agente patógeno de la peste pudo ser secuenciado gracias a que las bacterias se reproducen de forma masiva en el huésped y, por consiguiente, aparecen en una elevada concentración en la sangre. Empleamos aquellas partes del esqueleto que tienen un buen riego sanguíneo, es decir, los dientes. Con ayuda del procedimiento probado y perfeccionado

en los huesos de neandertales y de otros seres humanos pudimos extraer y descifrar el genoma de *Yersinia pestis*.

Para comprender básicamente a la bacteria de la peste, lo mejor es dejar a un lado, por el momento, su efecto letal en el ser humano. En el fondo, *Yersinia pestis* está solo interesada en una cosa, como cualquier otro ser vivo: quiere preservar su especie y difundirla lo máximo posible. Esta bacteria vive en organismos ajenos, en los que se reproduce para colonizar a su vez a nuevos huéspedes. En principio, el objetivo de los agentes patógenos no es la muerte de un huésped, pues esta puede ser incluso contraproducente. Esto queda demostrado, por ejemplo, en el virus del Ébola, uno de los agentes patógenos más mortíferos que conocemos. Como todo el mundo sabe, mata a una velocidad extrema; por consiguiente, el virus tiene muy poco margen para propagarse de una persona infectada a otra. Debido a que los brotes de ébola se extinguen con rapidez, el virus no tiene tiempo, por tanto, para transmitirse a poblaciones más alejadas y, por regla general, no ha podido extenderse muy lejos en brotes anteriores. El virus de la gripe, del que casi cada año se propagan nuevas formas del Sudeste Asiático a todo el planeta, actúa de una manera completamente distinta. Mata con poca frecuencia y, por tanto, llega muy lejos; las oleadas anuales de gripe dan testimonio de ello. Desde un punto de vista evolutivo, el virus del Ébola está en desventaja en comparación con el de la gripe, porque la enfermedad es más letal. Ahora bien, no siempre está garantizada una extinción rápida, tal y como muestra el brote devastador de finales del año 2013. En aquella ocasión, el virus rebasó las fronteras de varios países, tal vez a causa de la densidad poblacional, tal vez a causa de alguna característica especial de esa cepa del virus. Sin embargo, tampoco entonces el ser humano era el objetivo principal del virus, sino solo un daño colateral. Esto mismo fue lo que ocurrió durante mucho tiempo con la peste.

VIRUS Y BACTERIAS

Los virus y las bacterias enferman a humanos y a animales, y esto es lo único que en realidad comparten estos dos agentes patógenos. Y es que mientras que las bacterias son seres vivos que se mueven allí donde encuentran la mayoría de los nutrientes y las mejores condiciones para reproducirse, los virus son simplemente paquetes moleculares sin un metabolismo propio. Podemos describir a los virus como los zombis entre los agentes patógenos; no viven, pero cuando entran en contacto con un organismo le ocasionan un perjuicio tremendo al hacer que el cuerpo de este trabaje para ellos. Los virus no solo son capaces de infectar a los seres humanos, sino también, por ejemplo, a las bacterias. En cambio esto no funciona a la inversa.

Por regla general, los virus son una información de ADN con una envoltura, que a la primera oportunidad se une a las células humanas, por ejemplo, al respirar un virus y acoplarse este a los pulmones, a una célula de la membrana mucosa. Una vez llegado ahí, el virus inserta su paquete de ADN en las células y modifica sus informaciones genéticas. Las células ya no reproducen entonces sus propias informaciones genéticas, sino las del virus. Luego estos se propagan por todo el cuerpo y son destruidos junto con las células afectadas cuando el sistema inmunológico los reconoce. El papel de los antibióticos en el combate contra las bacterias tiene su equivalente en las vacunas para la defensa ante los virus. El sistema inmunológico puede reconocerlos y luchar contra ellos de inmediato entrenándolo con dosis de virus debilitados o con componentes víricos. Sin una vacuna, en cambio, el cuerpo necesita más tiempo para dar una respuesta; según en qué circunstancias el organismo necesita tanto tiempo que los virus acaban por afectar a todo el cuerpo y hacen que este se colapse.

La bacteria *Yersinia pestis* se escindió hace unos 30 000 años de su pariente más cercana, la bacteria *Yersinia pseudotuberculosis*, que vive en el suelo. Todas las bacterias tienen su origen en la tierra o en el agua; algunas de ellas pasaron en algún momento a otros seres vivos, a través de su ingesta, por ejemplo. Para todos los agentes patógenos, no solamente para el de la peste, el ser humano, repartido escasamente por el mundo hace decenas de miles de años, era en verdad un huésped potencial, pero no demasiado atractivo. Cuando un ser humano se infectaba con un virus o con bacterias, esto podía afectar quizá a un grupo pequeño de cazadores y recolectores en el que se hallaba, pero después el brote se extinguía. Al comienzo de la historia de la humanidad, los agentes patógenos necesitaron otros huéspedes para reproducirse, y estos eran, por regla general, otros animales, como, por ejemplo, los murciélagos, que siguen siendo la fuente más común de nuevos agentes patógenos, al estar sus poblaciones tan concentradas en decenas de miles de ejemplares y al gotear en sus colonias fluidos de todo tipo. Cuando un agente patógeno pasa de un animal al ser humano (por ejemplo, cuando llegan excrementos animales o carne infectada a la alimentación), hablamos entonces de «zoonosis». A tales zoonosis se remontan la mayoría de los patógenos que encontramos en la actualidad en los seres humanos. Desde un punto de vista evolutivo, los agentes patógenos se adaptaron a nosotros cuando los humanos se hicieron más numerosos y comenzaron a establecerse y a convivir en espacios más reducidos. En la actualidad, el ser humano es un huésped tan rentable como el murciélago, porque asegura la propagación de virus y de bacterias entre su gigantesca población.

LA POBRE PULGA

Para provocar catástrofes entre los seres humanos como la peste justiniana o la muerte negra, la bacteria de la peste primero tuvo que convertir en su herramienta a otro organismo que, durante la transmisión de la enfermedad, muere de una forma dolorosa y agónica: la pulga. En el periodo de las grandes pandemias de la peste, los seres humanos vivían en Europa en unas condiciones muy poco higiénicas. En la mayoría de los casos no había red de alcantarillado ni en los núcleos urbanos con una elevada densidad de población, y se desconocía todavía la higiene entendida como medida de prevención de enfermedades. En las aldeas y en las ciudades solía almacenarse el grano en los desvanes, en las calles flotaban las heces y las ratas campaban a sus anchas por doquier. Estos animales eran huéspedes del agente patógeno de la peste, que, probablemente, en un principio atacaba sobre todo a los roedores. La peste podía pasar de estos animales a los humanos cuando estos se los comían, eran mordidos por ellos o entraban en contacto con sus secreciones. Sin embargo, el agente patógeno de la peste no se volvió mortal hasta que algunas mutaciones hicieron que pudiera pasar de una manera mucho más efectiva de la rata al ser humano, es decir, a través de la pulga de la rata, que, cuando no tenía otra opción, mordía también a los humanos.

La pulga resultó indispensable para la propagación de la peste bubónica. Para pasar de un mamífero a otro, por ejemplo, de la rata al ser humano o incluso de un humano a otro humano, la bacteria tuvo que encontrar la manera de introducirse primero en la pulga y, a continuación, pasar desde el sistema circulatorio de esta hasta otro organismo. El problema residía en que la pulga no transmite sangre de por sí, sino que solo la absorbe. Fue este obstáculo en concreto el que superó la bacteria de la peste bubónica. Se encargaron de ello las mutaciones en los denominados «genes de virulencia», que, entre otros aspectos, aseguran la supervivencia de las bacterias en el estómago de la pulga. Mucho peor para ella es, sin embargo, el biofilm que producen las bacterias en la boca del estómago del animal, desencadenado por algunos de los genes de virulencia. Este biofilm es una especie de grumo compuesto por bacterias de la peste, que atasca el estómago de la pulga y al mismo tiempo infecta con bacterias cualquier líquido que lo toca. Para la pulga la tortura comienza la siguiente vez que pica después de resultar infectada. La sangre que absorbe no encuentra la manera de llegar a su estómago; en lugar de esto, la vomita de nuevo e infecta así a la persona picada.

Mientras que una pulga sana solo pica unas pocas veces al día, una pulga infectada por la bacteria de la peste lo hace cientos de veces. Al irse muriendo de hambre paulatinamente y volverse, por consiguiente, más agresiva en sus picaduras, el animal pierde el control de sí mismo y, de esta manera, procura nuevas infecciones masivas en humanos y en otros animales. Las bacterias se reproducen en los enfermos y siguen propagándose a continuación en otra pulga o en forma de peste neumónica por el aire. Las personas moribundas son un medio para que el patógeno logre su fin, pues la sangre absorbida por la pulga tiene que contener muchas bacterias para que funcione la propagación, y ello solo es posible en el caso de una intoxicación letal de la sangre. Las bacterias asumen que morirán con el huésped, ya que la septicemia de este le posibilitará contagiar a nuevos huéspedes.

Fue por medio de esta vía de transmisión como esta plaga se convirtió en la infame peste bubónica, en la cual, después de la picadura de la pulga, las bacterias de la peste se reproducen en los ganglios linfáticos y hace que estos se hinchen hasta convertirse en bultos visibles. Las bacterias se propagan por todo el cuerpo en el transcurso de diez días, causan fallos en los órganos y, finalmente, producen una septicemia mortal. Las extremidades adoptan una tonalidad oscura la mayoría de las veces, de ahí el nombre de «muerte negra». La peste neumónica, otra forma de la peste, es un efecto secundario y se transmite directamente de persona a persona. El pulmón de un infectado de peste bubónica se deshace y libera sus diminutos componentes por el aire que respira. Si estas gotitas minúsculas van a parar a otro pulmón, la persona infectada muere al cabo de uno o dos días.

AYUDA DEL PENTÁGONO

Los patógenos, tanto de la muerte negra como de las primeras pandemias de la peste documentadas en la historia, disponían de las mutaciones necesarias para el repulsivo proceso de la propagación y de la enfermedad. La peste justiniana, que asoló Europa a partir del siglo VI, se cobró, según los cálculos, decenas de millones de vidas humanas y pasa por ser la causa posible del declive definitivo del Imperio romano de Occidente. En el año 2016 pudimos reconstruir un agente patógeno de la peste bubónica de aquella época. Se encontraba en un enterramiento cerca de Múnich, donde en el siglo VI fue sepultada una pareja joven que al parecer había fallecido al mismo tiempo. Este hecho añadió un importante dato a nuestra imagen acerca de la peste justiniana. Contrariamente a lo transmitido en los documentos históricos, la

epidemia no solo afectó al área mediterránea, sino también a regiones situadas al norte de los Alpes.

Buscar el genoma de la peste en un cementerio londinense era algo lógico, puesto que todo el mundo sabía que la muerte negra había asolado ese territorio y que numerosas víctimas habían sido enterradas en fosas comunes. Detectar la peste justiniana cerca de Múnich requería un poco más de eso que llaman «la suerte del investigador». Ahora bien, durante mucho tiempo permaneció sin respuesta la cuestión acerca de en qué lugares de la prehistoria, de la que no se posee ningún tipo de registro escrito, habían fallecido seres humanos a causa de esa enfermedad. En este caso no solo se trataba de buscar una aguja en un pajar, sino que ni tan siquiera se sabía en qué pajar había que buscar. Y es que mientras que está claro dónde se encuentra el ADN de seres humanos fallecidos, esto es, en sus huesos, en el caso de los agentes patógenos hay que saber primero en qué esqueletos se hallan, es decir, qué difuntos han padecido determinadas enfermedades. Por ello, verificar los genomas de la peste en restos mortales humanos de una época de la que no se sabe si esta circulaba ya por aquel entonces es una empresa cuyo resultado puede ser enormemente incierto. Y, sobre todo, una empresa casi impagable, pues buscar al tuntún el agente patógeno en cada esqueleto secuenciado sería demasiado caro. En todo caso eso es lo que sucedía hasta hace poco tiempo. El hecho de que en la actualidad sea posible una búsqueda más amplia se lo debemos también al Ministerio de Defensa de los Estados Unidos de América.

Así, en el año 2012, el Pentágono ofreció un premio de un millón de dólares para aquellos científicos que desarrollaran un programa informático para un sistema rápido de detección y de clasificación de material genético bacteriano y viral porque querían estar mejor preparados en el caso de que se produjeran ataques con armas biológicas. Participaron en el concurso más de cien equipos de trabajo; solo tres consiguieron llegar a la final. En el otoño de 2013 se eligió al equipo ganador de la Defense Threat Reduction Agency’s Algorithm Challenge, compuesto por tres personas, entre ellas mi colega de Tubinga el bioinformático Daniel Huson. Para poder emplear también ese algoritmo en la arqueogenética, Huson desarrolló posteriormente en colaboración con nuestro instituto en Jena un algoritmo basado en aquel, el cual permite asignar mil millones de secuencias de ADN a su organismo de origen en tan solo veinticuatro horas. El programa indica cuánto del ADN de un esqueleto es humano y cuánto proviene de microbios, bacterias o virus, y, sobre todo, de cuáles. Este algoritmo nuevo es doscientas veces más rápido

que los métodos antiguos; solo hay que esperar ahora un día a los resultados en lugar de casi un año.

El algoritmo reconoce si el ADN investigado contiene aquellas bacterias o virus que son «agentes patógenos» para los humanos. Como es natural, esto solo funciona si los patógenos ya conocidos son similares y sus secuencias se encuentran almacenadas en el banco de datos; las enfermedades desconocidas y extintas siguen sin ser detectadas. Si anteriormente los microbios eran un producto de desecho durante la secuenciación de ADN humano, con el nuevo procedimiento se convirtieron en un objetivo final. En nuestro instituto se investigaron miles de esqueletos de esta manera, y no solo hemos detectado así la peste, sino también otra serie de enfermedades.

La peste sigue a la migración

Solo gracias a este algoritmo descubrimos en el año 2017 el agente patógeno de la peste más antiguo conocido hasta la fecha. En más de quinientas pruebas de dientes y de huesos de la Edad de Piedra, procedentes de Alemania, Rusia, Hungría, Croacia y de los países bálticos, procedimos a buscar la bacteria de la peste; la encontramos además enseguida y repetidas veces. En primer lugar (y esta fue la mayor sorpresa) en la estepa póntica; ese agente patógeno tenía una antigüedad de unos 4900 años y tenía su origen hace, aproximadamente, 5500 años. Así pues, la peste entre los seres humanos existía en épocas anteriores a las que se había supuesto. Este agente patógeno se encontraba a las puertas de Europa ya en la Edad de Piedra, hasta que las echó abajo, al parecer por la misma época en la que inmigraron a ella los habitantes procedentes de las estepas. La enfermedad pudo detectarse en el intervalo de tiempo entre hace 4800 años y, aproximadamente, 3800 años en los esqueletos de toda Europa, por ejemplo, en los países bálticos, en Croacia y en Augsburgo, pero también en la lejana cordillera de Altái, donde apareció hace unos 3600 años tras el movimiento de retroceso de los genes esteparios. El camino que podía deducirse de los análisis y por el cual se desarrolló la bacteria de forma permanente se correspondía con exactitud con la ruta que pudo trazarse también para los inmigrantes procedentes de la estepa. Así pues, la peste y los habitantes de la estepa habían emprendido el camino hacia el oeste y, posteriormente, hacia el este. Sin embargo, el agente patógeno de la Edad de Piedra no pudo desencadenar ninguna peste bubónica, ya que le faltaban los genes de virulencia que habíamos detectado en las cepas bacterianas de la peste justiniana y de la muerte negra.

Ahora bien, la propagación de la peste y los movimientos migratorios humanos ¿eran sucesos interconectados o no? Algunos indicios apuntan a que, ya antes de ese gran movimiento migratorio humano, el agente patógeno de la peste se estaba expandiendo hacia la Europa occidental. Al fin y al cabo ya había contactos tempranos entre los humanos de estas regiones, tal como muestra el hallazgo en Varna del ADN de la estepa, con una antigüedad de 6200 años. Por aquel entonces, la bacteria podría haber sido introducida por comerciantes y haber afectado a una población desprevenida. Sobre el efecto que las bacterias y los virus desconocidos pueden tener en los seres humanos tenemos conocimiento, por ejemplo, de lo sucedido en la época de la colonización europea de América, cuando los habitantes originarios del lugar murieron de forma masiva a causa de las enfermedades llevadas allí. Esto mismo podría haberles sucedido también a los humanos de la Europa occidental.

Esto no puede probarse genéticamente porque apenas disponemos de hallazgos de esqueletos en la Europa central para el periodo de hace entre 5500 y 4800 años, lo que, a su vez, podría ser un indicador de que la peste ya causaba estragos entonces. Puede que los seres humanos comenzaran a incinerar a sus difuntos por aquella época para hacer frente de esa manera al peligro mortal que al parecer emanaba de los cadáveres. También se podría suponer que evitaban tocar los cuerpos portadores de la muerte y, por tanto, los dejaban descomponerse sin enterrar, razón por la cual no se habrían conservado los huesos.

No obstante, hay muchas otras causas potenciales para la reducción drástica de la población que se produjo sin lugar a dudas por aquel entonces. Tal vez un cambio climático provocó malas cosechas y hambrunas. Los conflictos bélicos entre los agricultores que quizá se quedaran sin recursos podrían haber generado multitud de víctimas que no fueron enterradas. Asimismo otro agente patógeno podría haber diezmado a los seres humanos, puede que uno que ya no existe, de modo que no podemos identificarlo siquiera con los más modernos métodos de secuenciación. Así pues, el escenario de la peste es tan solo uno entre muchos. Tal vez no sucediera nada y la arqueología ha tenido mala suerte y no ha encontrado restos mortales humanos de ese periodo. Sin embargo, esta es la menos probable de todas las opciones.

Si la peste es, en efecto, la responsable del retroceso de la población en el periodo previo a la inmigración procedente de la estepa, se impone la cuestión de cómo se propagó. La peste de la Edad de Piedra no disponía todavía del

método cruelmente eficaz de encontrar nuevos huéspedes en las pulgas. Parece posible que los enfermos se contagiaran por las vías respiratorias, como es el caso de la gripe, de la tuberculosis o de la peste neumónica. Si la peste hubiera atravesado Europa de esta manera, una epidemia habría desarrollado una dinámica elevada en el continente ya densamente poblado. Los hallazgos arqueológicos encajarían también en este escenario; según esos hallazgos, en aquella época no solo había cada vez menos seres humanos, sino que algunos asentamientos enteros, por ejemplo, los situados a orillas del mar Negro, quedaron despoblados de forma repentina, como si sus moradores hubieran emprendido la huida, tal vez ante una misteriosa epidemia. En esta dirección apunta también el genoma (publicado a finales de 2018) de una antigüedad de 4900 años y, por consiguiente, el más antiguo de un ser humano del norte de Europa. Sus antepasados no habían mezclado aún sus genes con la población yamna. Quizá les ocurrió lo mismo a muchos de sus congéneres; la enfermedad podría haber precedido a la gran inmigración y haber dejado tras de sí unas tierras prácticamente despobladas.

A LOMOS DE LOS CABALLOS

Existen más datos genéticos para la oleada de la peste en Europa después de la gran migración, pero estos tampoco bastan para trazar un panorama completo. Ofrecen espacio para al menos dos interpretaciones, pero ambas se excluyen mutuamente. Así pues, tal y como acabamos de describir, la peste podría haber causado estragos en Europa ya antes de la gran inmigración y haberse transmitido de persona a persona. La otra hipótesis sostiene que la mayoría de los agentes patógenos llegaron a Europa con la oleada migratoria, pero no a través del contagio entre humanos, sino a lomos de los caballos. Esta es la teoría que preferimos, a pesar de que todavía presenta muchas incógnitas.

Lo que habla en contra de la transmisión de humano a humano es el hecho de que la peste neumónica conocida en la actualidad solo aparece como efecto secundario de la peste bubónica. Dado que al parecer esa forma de peste no se había desarrollado todavía durante la migración de la estepa, las bacterias en esa época se transmitieron quizá de los animales a los humanos. La pulga queda excluida, ya que solo puede transmitir la enfermedad una vez que han mutado los genes virulentos en el agente patógeno de la peste bubónica. Tienen que haber sido otros animales que convivían estrechamente con los seres humanos, como, por ejemplo, las ratas o incluso las marmotas. Sin

embargo, también estos animales son unos transmisores poco probables de la enfermedad, porque los pastores emigrantes seguramente no se llevarían ni a ratas ni a marmotas para su viaje. Las dos especies animales que los acompañaron en su camino hacia el oeste fueron, con bastante seguridad, las vacas y, con mayor seguridad aún, los caballos. Los equinos de las estepas, recordémoslo, fueron sustituidos por los caballos europeos domesticados y en la actualidad siguen existiendo en la forma del caballo de Przewalski, asilvestrado en fechas recientes. Este reemplazo completo de la población equina tuvo lugar en el III milenio a. C., en paralelo con la expansión de los habitantes de las estepas, así como de la peste.

La enfermedad podría explicar por qué los inmigrantes cambiaron sus monturas. Esta conducta no era, en todo caso, lógica, porque ya habían venido a Europa con caballos domesticados y podrían haber seguido criándolos sin problemas. En lugar de esto, parecen haberse decidido (o haberse visto obligados) a domesticar los caballos salvajes y a separarse de sus antiguos acompañantes. Un indicio de por qué podrían haber actuado así nos lo ofrecen algunos experimentos históricos con animales.

Estos experimentos fueron realizados por el descubridor de la bacteria de la peste, el francés Alexandre Yersin. El famoso bacteriólogo Louis Pasteur envió a Yersin, en 1894, a Hong Kong, donde por aquella época causaba sus estragos en todo el mundo la tercera y, hasta el momento, última gran pandemia de la peste. Por entonces ya se conocía a la peste como una terrible enfermedad epidémica, pero no se conocía la causa que la provocaba. Yersin, después de procurarse de manera ilegal algunos fallecidos por la peste procedentes de las morgues, descubrió la bacteria que después llevaría su apellido, la *Yersinia pestis*. Luego trató de desarrollar una vacuna durante dos años y para ello infectó a varios animales domésticos con la bacteria de la peste. El único que sobrevivió fue el caballo o, mejor dicho, el descendiente domesticado del caballo salvaje europeo. Así pues, es muy posible que la especie de caballo sobre la que cabalgamos todavía en la actualidad resista a la peste.

Este podría ser el motivo por el que los humanos apostaron por el caballo salvaje europeo en los siglos siguientes a la inmigración, mientras que los caballos asiáticos, que no resistían, prácticamente se extinguieron. El reservorio de la peste de la Edad de Piedra («reservorio» designa a aquellas poblaciones de mamíferos en cuyos cuerpos se mantienen preferentemente los agentes patógenos de la enfermedad, y desde los cuales pueden pasar al ser humano) habrían sido, por consiguiente, los caballos asiáticos, que

contagiaban a las personas una y otra vez. No en vano, los jinetes pasaban mucho tiempo sobre los caballos, y esto llevaba de forma inevitable a un estrecho contacto y a un intercambio de bacterias. Casi todos los hombres procedentes de la estepa eran jinetes. Y hasta el momento (con una sola excepción) hemos encontrado todos los agentes patógenos de la peste en varones con ADN de la estepa; en el caso de la excepción, el agente patógeno había matado a una niña pequeña que asimismo era portadora de genes esteparios. Esto no significa todavía que solo murieran los inmigrantes a causa de la peste. Tal vez no se enterraba a los humanos arraigados que habían sido infectados por la plaga letal.

Todos estos relatos sobre la peste de la Edad de Piedra están basados en suposiciones y en conclusiones. La enfermedad, y esto es todo lo que sabemos, se encontraba en el umbral de Europa en la época del cambio radical, y algo provocó por entonces un retroceso extremo en la población: o bien antes de la gran inmigración, o bien durante esta. Creemos que el caballo asiático es una explicación lógica, pero sin duda no la única. Si Alexandre Yersin hubiera infectado en su momento a un caballo de Przewalski con la bacteria de la peste, tendríamos ahora un poco más de conocimiento sobre este asunto. Sin embargo, el desafortunado animal de laboratorio quizá habría muerto.

Condiciones en la época romana tardía

El agente patógeno de la peste de la Edad de Piedra se extinguió probablemente hace unos 3500 años, o al menos el hallazgo más reciente de la bacteria data de esa época. Como muy tarde hace unos 3800 años apareció entonces en la región de Samara la forma más temprana conocida hasta la fecha del patógeno de la peste bubónica, tal y como pudimos demostrar en el año 2018. Desconocemos qué fuerza de penetración poseía el patógeno en esa época, pero no hay que excluir, como mínimo, que desde entonces, y una y otra vez, las oleadas de la peste alcanzaron Europa y también Oriente Próximo. En registros antiguos se informa, por ejemplo, de una llamada «peste hitita» que devastó el imperio poco antes de su caída. No obstante, se trata de una mera especulación dirimir si la bacteria de la peste u otro agente patógeno fue responsable del ocaso de esta o de otras civilizaciones de Oriente Próximo hace unos 3200 años. En el caso de que en efecto se tratara de la peste, la enfermedad ya se transmitía probablemente por las pulgas.

La peste bubónica y las pulgas componían un equipo eficiente, pero para el trío mortal faltaba todavía la rata doméstica, que aumentó de un modo significativo el hábitat de la bacteria. Según se cree, la rata doméstica se extendió también gracias al Imperio romano. La primera oleada documentada de peste de la historia de la humanidad causó estragos en el Imperio romano de Oriente. Igual que en el caso de la muerte negra, en la peste justiniana (llamada así por el emperador de entonces, Justiniano I, que también enfermó, pero sobrevivió) no estuvo claro hasta hace poco si se trataba de la peste o de otra enfermedad. De todos modos, el historiador Procopio de Cesarea registró en detalle los síntomas de la enfermedad, que a partir del siglo VI provocaría muchos millones de víctimas entre los seres humanos. Describió entre otras cosas las bubas en las ingles, los ataques de rabia y las alucinaciones de los afectados, quienes, al parecer, solo tenían una oportunidad de sobrevivir si las bubas reventaban. De la capital Constantinopla, la actual Estambul, Procopio informó sobre la existencia de decenas de miles de fallecidos diarios; no es de extrañar que muchos contemporáneos creyeran que la epidemia era un presagio del inminente fin del mundo. Entretanto hay una serie de análisis genéticos que prueban de manera inequívoca lo que hasta el momento se trataba tan solo de una elevada probabilidad: la peste justiniana fue una pandemia de peste bubónica, y la vereda de la muerte que abrió se extendió hasta muy al norte y al oeste del continente. De esta manera pudimos secuenciar bacterias de aquella época procedentes de Baviera y del sur de Inglaterra, así como de Francia y de España.

La peste justiniana tuvo una particular virulencia en Constantinopla; la causa fue probablemente un terremoto de gran intensidad, que redujo a escombros algunas zonas de la ciudad en el año 542. Se supone que los cadáveres y las grandes cantidades de alimentos caídos de los desvanes habrían causado un aumento de la población de ratas, lo que a su vez significó unas condiciones ideales para la propagación de la peste. Dado que Constantinopla se encontraba muy bien comunicada por mar con otras ciudades portuarias del espacio mediterráneo, la oleada de la peste que se extendió en los siguientes años por toda Europa continuó desplazándose por las rutas marítimas. Las oleadas migratorias que atravesaron Europa en aquel tiempo aceleraron más su propagación. Y es que la peste justiniana coincidió con la fase tardía de la emigración de los pueblos que, gracias al desmoronamiento del Imperio romano de Occidente, volvió a cobrar impulso a finales del siglo V. Es así como la peste bubónica podría haberse transmitido

a través del canal de la Mancha a los territorios del sur de Inglaterra cuando los anglos y los sajones llegaron a la isla.

Hasta el siglo VIII se produjeron continuas epidemias en Europa, provocadas, con un elevado grado de probabilidad, por el agente patógeno de la peste bubónica. La gente vivía atemorizada en todas partes, no solo a causa de las recurrentes oleadas de muerte, sino también por la inestabilidad política que las acompañaba. El Imperio romano de Oriente perdió influencia, algo que los historiadores atribuyen al debilitamiento de las guarniciones a causa de la peste. Por el norte se iba expandiendo cada vez más el Imperio carolingio, y la otrora metrópolis de Roma se convirtió en una pequeña ciudad provinciana en el territorio de asentamiento de los langobardos. Atribuir todo esto únicamente a la peste sería excesivo, pero no hay duda de que la enfermedad ejerció un poderoso influjo en el sentimiento de la vida de las personas y en el tejido social. Hasta el siglo VIII se produjeron en Europa un mínimo de dieciocho graves epidemias, es decir, alrededor de un brote cada diez años. Sigue sin aclararse por el momento por qué la peste no volvió a aparecer después hasta el siglo XIV. Sin embargo, hay claros indicios arqueológicos de que en ese tiempo la población de ratas disminuyó en gran medida. En la fase oscura de finales del I milenio d. C. podría haber habido menos personas, menos asentamientos y, por consiguiente, peores condiciones de vida para las ratas. Tal vez la bacteria de la peste perdió fuelle. De manera provisional.

FRONTERAS HERMÉTICAS, DESCONFIANZA FRENTE A LOS FORASTEROS

La gente de la Baja Edad Media debía de sentirse bastante segura frente a las desastrosas epidemias, pues no en vano había pasado más de medio milenio desde la catástrofe del siglo VI. La línea de la bacteria *Yersinia pestis*, responsable de la peste justiniana, se había extinguido ya a esas alturas; esto es lo que nos muestran los análisis genéticos. Se ha contado en numerosas ocasiones cómo llegó la muerte negra a Europa y, sin embargo, sigue resultando difícil imaginarse el horror al que estuvieron expuestos los seres humanos de aquella época. Uno de los episodios más espeluznantes acaeció en la península de Crimea, en la ciudad portuaria de Kaffa para ser más exactos, la actual Feodosia, sobre la que varias potencias de entonces reclamaban sus derechos. Debido, no en última instancia, al controvertido

estatus de esta colonia comercial de la república marítima de Génova, la peste negra inició su andadura desde allí.

Kaffa había sufrido asedios desde el año 1346 por tropas mongolas, cuyo Imperio de la Horda Dorada era en aquella época una gran potencia en Asia y en la Europa oriental. Según cuenta la tradición, en la primavera de 1347, los atacantes catapultaron cadáveres en descomposición y fragmentos de cadáveres por encima de los muros. Previamente, muchos de los asaltantes habían enfermado de peste, y las fuentes informan de que la enfermedad campaba a sus anchas desde hacía varios años en el Imperio de la Horda Dorada. Así pues, los mongoles conocían el potencial letal de la misteriosa epidemia que estaba matando a sus camaradas. El presunto ataque con armas biológicas no dejó de causar su efecto, pues la peste se propagó por Kaffa. Presos del pánico, los habitantes de la colonia se subían a los barcos para escapar de aquella muerte segura.

En los barcos es posible que la peste hubiera matado ya a gran parte de las tripulaciones; una vez llegados (más muertos que vivos) a las ciudades portuarias, los supervivientes infectaban a una población completamente desprevenida. La peste se propagó desde los puertos del Mediterráneo hacia el norte; los transmisores fueron, entre otros, seres humanos que trataban de escapar de la epidemia. Pronto se pondría un punto final al desconcierto y a la ignorancia, pues no solo la peste se propagaba por Europa como un reguero de pólvora, sino también la noticia de que los forasteros traían la muerte y la ruina. Testigos contemporáneos informaron de un embrutecimiento generalizado y de una desconfianza extrema frente a todo aquel que venía de fuera. La simple noticia de que había refugiados de camino hacia un lugar bastaba para poner en estado de agitación a ciudades enteras. Se establecieron controles fronterizos y suspensiones de contacto físico.

La gente de entonces tenía las ideas más peregrinas acerca del origen de la peste. Sospechaban de cualquier forastero; sin embargo, procedieron con especial dureza contra las comunidades judías. Fueron acusadas de haber envenenado los pozos; se aniquiló a cientos de comunidades judías en estallidos de violencia desenfrenada. También se vieron afectados los leprosos y los pobres, al igual que, en ocasiones, los ricos o los nobles, es decir, quienes no pertenecían a la mayoría social. Aunque no se sabía cómo se transmitía la peste, los observadores eran claramente conscientes de que la enfermedad era muy contagiosa y que golpeaba a todos por igual, sin distinción. El cronista italiano Gabriele de' Mussis escribió acerca de la inexorabilidad de la peste, que atacaba «en cada ciudad, en cada lugar y en

cada país a los habitantes de ambos sexos». Muchos observadores suponían que existía un «soplo de aire de la peste» que se extendía por los territorios y conducía a las personas a la muerte.

Durante los siglos siguientes, la peste devastó algunas ciudades con especial frecuencia, entre ellas Venecia, donde hacían sus negocios los comerciantes de todo el mundo. Poco después del brote de la epidemia, la ciudad anunció la prohibición de entrada a toda persona de fuera; a los capitanes que se resistían se les amenazaba con multas y con la quema de sus barcos. Bloquear los puertos se convirtió en muchos lugares en el remedio elegido, si bien resultó ser bastante ineficaz. En esa época se inventó la cuarentena, con la que se aislaba a las personas que entraban en la ciudad durante cuarenta días (*quaranta*, en italiano). Muchas urbes establecieron autoridades sanitarias, pero sus responsables no se imaginaban ni remotamente el potencial letal de las ratas ni de las pulgas. Los esfuerzos sanitarios estaban centrados en el aislamiento de los enfermos, lo cual significaba en la mayoría de los casos apiñarlos con otras víctimas y abandonarlos a su suerte. Se deshacían rápidamente de los cadáveres, que arrojaban, por ejemplo, en fosas comunes que en la actualidad proporcionan a los arqueogenetistas muestras fiables de la peste.

Sobre el cálculo del número de víctimas, algunos historiadores señalan que los cronistas podrían haber inflado la cifra de fallecidos a la vista de aquellas circunstancias infernales y completamente nuevas, y que, por tanto, tal vez fallecieron menos personas que los dos tercios de todos los noruegos o el 60 por ciento de los ingleses, españoles y franceses descritos. Sin embargo, incluso los cálculos más prudentes siguen estando más allá de lo que cualquiera es capaz de imaginar en la actualidad. En todo caso, la guerra de los Treinta Años, que estuvo asimismo acompañada por la peste, fue una catástrofe de proporciones similares. Una tercera parte de los europeos (según el cálculo actual, más bien moderado) murió durante la peste negra cuando la población total en Europa era de, aproximadamente, ochenta millones de personas. Solo pueden realizarse estimaciones acerca de la virulencia con la que la epidemia atacó determinadas regiones y, en especial, las ciudades portuarias. Sin embargo, ocasionalmente podría haber fallecido la mitad de todos los habitantes, como, por ejemplo, en Londres. Esto significa que casi todas las personas o, como mínimo, más de la mitad de la población debieron de haberse infectado con la bacteria. Y es que sabemos también que la peste bubónica sin tratamiento —y esta era la norma general en la Edad Media—

«solo» mataba a uno de cada dos enfermos. La otra mitad desarrollaba una inmunidad de por vida contra el agente patógeno.

INMUNIDAD

Sin un sistema inmunológico no existirían los seres humanos, ni tampoco los mamíferos, quizá ni siquiera los organismos pluricelulares primitivos. El mundo está lleno de bacterias, de virus y de otros agentes patógenos a los que el cuerpo debe encontrar respuestas. Y las encuentra. Existen dos niveles para la defensa del cuerpo. El primero es el sistema inmunológico innato que los seres vivos complejos poseen desde hace, aproximadamente, 400 millones de años. Así pues, esta inmunidad la comparte el ser humano, entre otros, con el cangrejo de herradura. Posibilita al organismo reconocer aquellas proteínas que son perjudiciales para el cuerpo, y combatirlas a continuación. Antes de que el agente patógeno pueda multiplicarse en la sangre, los macrófagos, también denominados «células carroñeras», lo envuelven y finalmente lo digieren.

Ahora bien, el sistema inmunológico innato solo puede destruir aquellas bacterias y aquellos virus que reconoce como tales. Las señales por las que los macrófagos embisten contra las bacterias son, por ejemplo, los pequeños flagelos bacterianos con los que se desplazan por la sangre. Por este motivo, la bacteria de la peste debe su éxito a una mutación que eliminó el flagelo durante la escisión de su pariente más cercana, la *Yersinia pseudotuberculosis*, de modo que fue capaz de superar el sistema inmunológico innato. Además, adquirió la capacidad de infectar las células carroñeras del cuerpo del huésped y reproducirse en ellas; para no ser digeridas, las bacterias producen un escudo protector compuesto de proteínas.

Contra semejantes tipos de bacterias y de virus bien pertrechados, a los que el sistema inmunológico innato ya no puede hacer frente, entra en acción el sistema inmunológico adaptativo o adquirido. Este sistema es mucho más reciente en la evolución y primero debe desarrollarse en cada ser humano, para lo cual necesita a su vez una infección. Los glóbulos blancos reconocen entonces determinadas estructuras superficiales de los atacantes y reaccionan con toda una serie de acciones que acaban inundando la sangre con anticuerpos y aniquilando a los atacantes. Sin embargo, este proceso dura entre nueve y catorce días, y el cuerpo debe sobrevivir durante ese tiempo de alguna manera. Con los virus de la gripe, por ejemplo, por regla general lo consigue muy bien; en el caso de la peste depende de la suerte y de la buena forma del afectado.

El sistema inmunológico adaptativo no solo produce anticuerpos, sino también células de memoria. Aseguran una respuesta inmunológica inmediata hasta cuarenta años después de la primera infección. Este es el principio por el que funcionan las vacunas. Una vez que un ser humano ha sobrevivido a la peste, los agentes patógenos de la peste resultarán vencidos en las siguientes infecciones gracias a esa inmunidad adquirida. En cambio, si la peste gana el combate, las bacterias se propagan por el cuerpo, la persona muere de una septicemia o por un fallo múltiple de sus órganos. Así pues, solo si la enfermedad mató a una persona, puede detectarse la peste en el ADN de sus huesos y de sus dientes. En caso contrario, los anticuerpos habrían aniquilado por completo a las bacterias y no se encontraría ni rastro de ellas en el genoma.

La peste ha acompañado a los europeos durante muchos siglos desde aquel brote de la muerte negra. Si se suman todos los informes históricos de las epidemias mayores y menores, se llega a la cifra de nada más y nada menos que siete mil brotes que se resumen en la denominada «segunda pandemia». La última gran oleada de esa pandemia tuvo lugar probablemente entre los años 1720 y 1722 en Marsella. Durante mucho tiempo tampoco estuvo claro en este caso si en la enfermedad descrita como «peste» por los contemporáneos se trataba en efecto del mismo agente patógeno de la época de la peste negra. La secuenciación de varios genomas de la peste acabó por confirmar esta suposición. También en Marsella murieron sus habitantes por la cepa de peste bubónica llegada a Europa en el siglo XIV.

Así pues, entre los siglos XIV y XVIII causó estragos una y otra vez el mismo agente patógeno. Y para la fase de la muerte negra sabemos entretanto, además, que no solo se trataba de la misma cepa de la peste, sino incluso de un clon. Todos los seres humanos que murieron durante esa pandemia sucumbieron a versiones idénticas de una única bacteria. Esto fue una gran sorpresa en el momento de la secuenciación, pues los agentes patógenos suelen mutar con mucha frecuencia, razón por la cual, por ejemplo, hay que desarrollar todos los años una nueva vacuna antigripal. Sin embargo, la bacteria de la peste (esto es lo que nos muestran los análisis genéticos) no pudo mutar de ninguna manera durante los seis años del periodo del terror, ya que posee una tasa de mutación inusualmente baja, de unos diez años por mutación. Por si fuera poco, el guerrero clon nos mostró también que la bacteria de la peste solo llegó a Europa una única vez. Antes existía la sospecha de que la muerte negra podría haber sido introducida una y otra vez por los barcos o por medio del comercio. Si hubiera sido de esta manera, se habrían tenido que encontrar diferentes cepas de la peste de esa época, y no distintas versiones que se remontaban a una misma cepa. Por consiguiente, la muerte negra fue algo así como la madre de la peste europea. Todas las cepas posteriores en el continente surgieron de ella.

No África, ni Asia, sino Europa se convirtió en el foco de la peste. Desde aquí se propagó durante los siguientes siglos una y otra vez. Las oleadas quizá llegaban siempre cuando la gente no se sentía amenazada, ya que habían transcurrido algunas décadas desde el último brote. Esos largos intervalos de tregua eran consecuencia de la inmunidad que habían adquirido los supervivientes de la peste. Sin embargo, tan pronto como disminuía el número

de personas inmunizadas y la bacteria se encontraba con una población cada vez más vulnerable, se producía la siguiente epidemia. Los niños, cuyo sistema inmunológico no había conocido jamás la bacteria, formaron el grupo de víctimas más afectado, por encima de la media. Entre las sucesivas oleadas, la peste perduraba probablemente en las enormes poblaciones de ratas de Europa.

De vuelta a las raíces

Desde Europa, la peste volvió a propagarse allí de donde partió en su día de camino hacia aquí, es decir, por Asia. En el año 2016, nuestros análisis genéticos confirmaron que un descendiente del guerrero clon reapareció a finales del siglo XIV en el Imperio de la Horda Dorada, cuyas tropas habían catapultado cadáveres sobre la población de Kaffa medio siglo antes. En Asia central, la peste bubónica regresó a sus orígenes, y hasta el día de hoy la población de roedores de esa región forma el mayor reservorio de la bacteria. Después de que Europa superara la peste bubónica, la enfermedad reapareció en China en el siglo XIX, desde donde se originó el brote de la tercera gran pandemia de peste bubónica en la historia de la humanidad, y también esta cepa del agente patógeno era un descendiente de la bacteria de la peste medieval procedente de la Europa del Este. La oleada en China continuó y fue aquella que, mientras Alexandre Yersin descubría la bacteria de la peste, mató en unos cincuenta años, según los cálculos, a doce millones de personas. Además de a China, la denominada «peste de Hong Kong» afectó sobre todo a la región del Pacífico y a amplios territorios de Asia, pero también fue transportada a América y a África en los barcos de vapor. En estas partes del planeta sigue existiendo la enfermedad en la actualidad. El brote de la peste en el mes de diciembre de 2017 en Madagascar hay que atribuirlo a la peste de Hong Kong exactamente igual que el agente patógeno de la peste de la que nos avisan hoy los carteles en el Gran Cañón del Colorado, en Estados Unidos. Entretanto sabemos que en China, a finales del siglo XIX, existieron también otras cepas de la peste y en gran parte siguen existiendo, pero únicamente la bacteria que surgió de la peste negra fue capaz de propagarse en el siglo XIX por todo el planeta.

En la mayor parte de los territorios de Europa se considera extinguido ya este agente patógeno. Sin embargo, en otras partes del mundo sigue estando todavía en cierta medida muy extendido; en Asia central hay más de dos docenas de roedores como reservorios, en Estados Unidos, muchos perritos de

las praderas son portadores de las bacterias de la peste. Dado que hoy en día puede tratarse la enfermedad con antibióticos, ha perdido mucho del terror que desencadenaba en la Edad Media, sí, pero sigue teniendo con frecuencia un desenlace mortal, sobre todo cuando las personas se infectan con la peste neumónica que suele matar más rápidamente de lo que se tarda en detectarla.

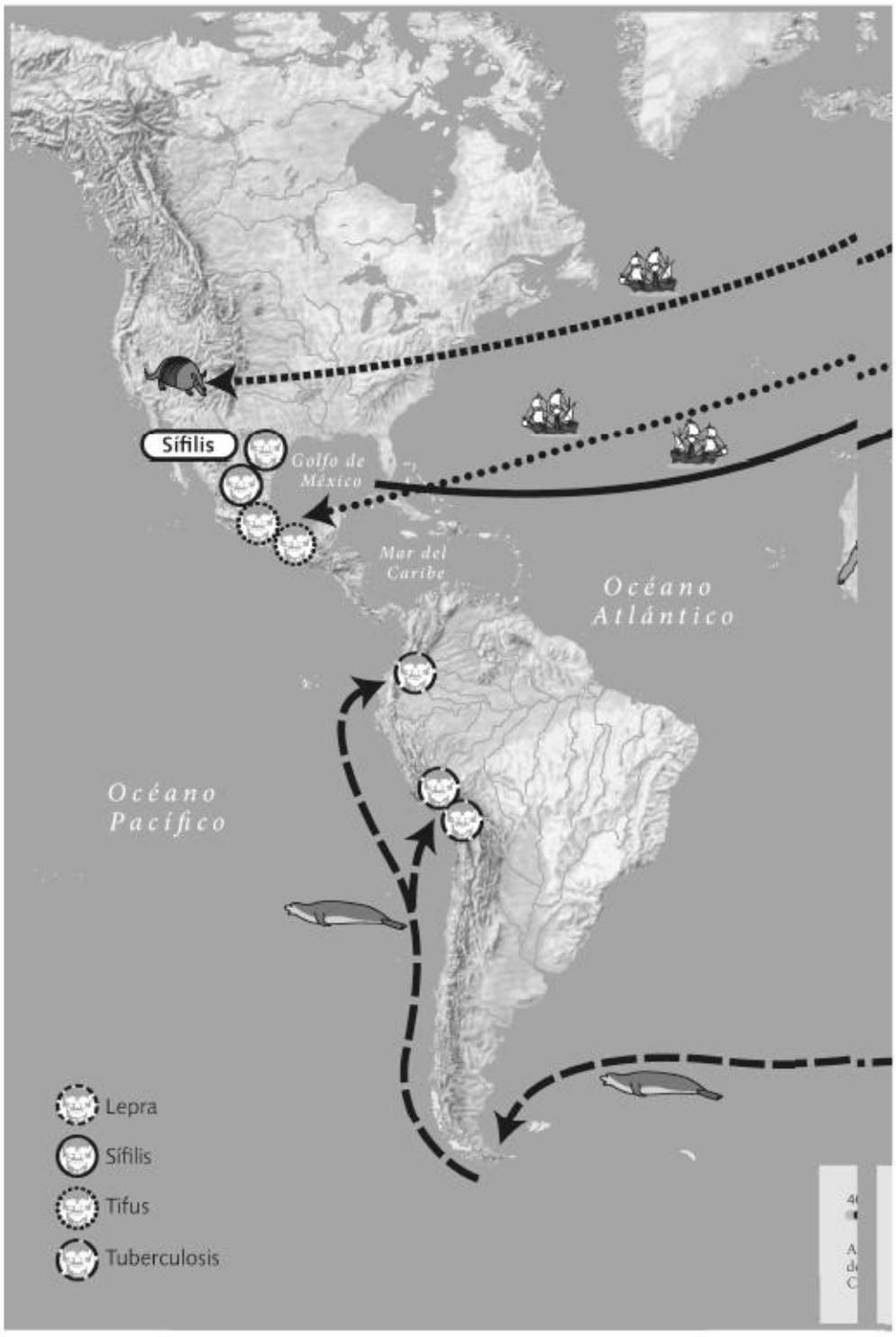
En la actualidad sigue siendo controvertido el debate de si la rata negra en la Edad Media fue o no el reservorio de la bacteria de la peste. No obstante, hay muchos indicios que señalan que fue así. Por un lado, la peste desapareció al final del Imperio romano en paralelo con la disminución de la población de ratas domésticas y no regresó hasta la Baja Edad Media, cuando en Europa estaban en pleno crecimiento las ciudades y el bienestar, y volvía a haber también más ratas. Por otro lado, también así podría explicarse por qué la peste causó estragos por última vez en Europa en el siglo XVIII. Y es que, por aquel entonces, la rata negra fue desplazada por su pariente viva más próxima, la rata parda. Esta especie agresiva de rata fue introducida en Europa quizá en los barcos (al igual que lo que ocurrió siglos antes con la peste negra), solo que esta vez con consecuencias más positivas para los seres humanos. Y es que la rata parda inició en el siglo XVIII una campaña de exterminio contra la rata negra europea, disputándole su hábitat a este animal mucho más pequeño o incluso, en ocasiones, comiéndoselo. En la actualidad, la rata negra solo sobrevive en Europa en algunas zonas aisladas, en Alemania figura incluso en la Lista Roja de Especies Amenazadas. En otras zonas del planeta, la rata negra se bate a su vez en retirada tan pronto como aparece la rata parda. Esta especie puede transportar la peste, pero no vive tan apegada al ser humano como la rata negra. También por este motivo la peste podría haber encontrado su final en Europa.

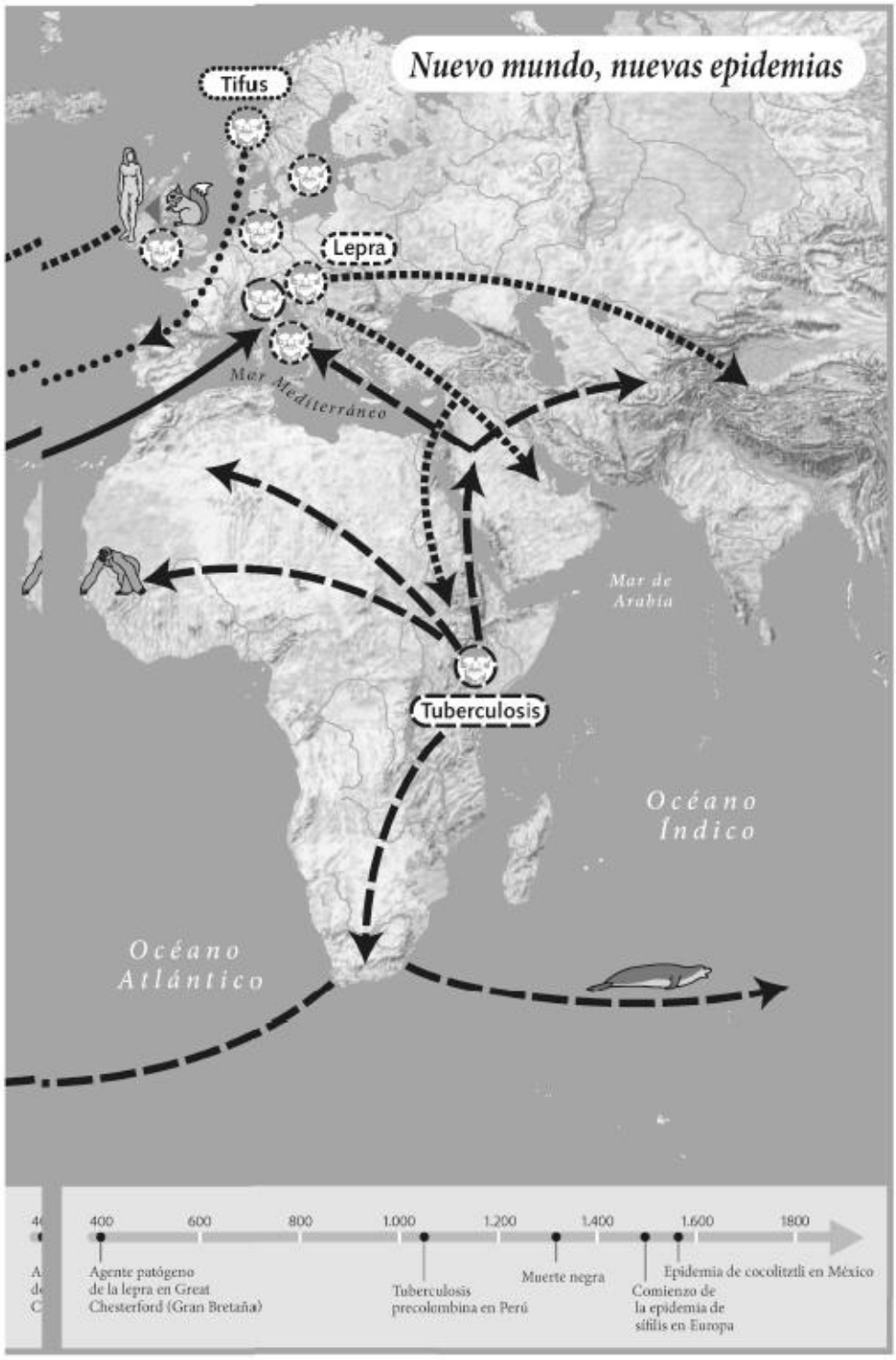
Independientemente de si la rata negra fue la responsable o no de una de las mayores catástrofes de la historia europea, el miedo a este animal ha quedado marcado con fuego, en todo caso, en la memoria colectiva de los europeos. Acaso deben su salvación de la peste a esa repugnancia actual. De todas formas, estos animales solo trajeron un corto respiro, ya que las siguientes epidemias mortales estaban listas hacía tiempo para reanudar el cruel legado de la peste.

9

Nuevo mundo, nuevas epidemias

La madre Teresa sufría probablemente de lepra. La tuberculosis llega en barco a América. Una carrera armamentista entre el ser humano y los agentes patógenos. Las epidemias preceden a los colonos. Las enfermedades venéreas de los vecinos.


Sífilis
Golfo de México
Mar del Caribe
Océano Atlántico
Océano Pacífico
Lepra
Sífilis
Tifus
Tuberculosis


Nuevo mundo, nuevas epidemias
Tifus
Lepra
Tuberculosis
Mar Mediterráneo
Mar de Arabia
Océano Índico
Océano Atlántico
400
600
800
1.000
1.200
1.400
1.600
1800
Agente patógeno de la lepra en Great Chesterford (Gran Bretaña)
Tuberculosis precolombina en Perú
Muerte negra
Comienzo de la epidemia de sífilis en Europa
Epidemia de cocolitztli en México

La muerte en el centro de acogida

Además de la peste, siempre recurrente, otra terrible epidemia aterrorizó a los seres humanos en la Edad Media: la lepra. Comparada con la peste, esta enfermedad era un destino aún más atroz si cabe. La mayoría de los afectados no moría por las consecuencias directas de la lepra, es verdad, pero en casi todos los casos equivalía a una sentencia de muerte. Esta no se producía al cabo de unas pocas semanas o días, como en el caso de la peste, sino que los enfermos quedaban sometidos a una tortura que duraba varios años, en la que la muerte física iba precedida de una muerte social.

La lepra es, junto con la peste, una de las enfermedades de transmisión más antiguas, probablemente causaba estragos ya en la época de los antiguos egipcios e hititas. En la actualidad siguen produciéndose unas doscientas mil nuevas infecciones al año, sobre todo en la India. No en vano se asocia hoy con la lepra a la misionera madre Teresa, quien dedicó sus cuidados sobre todo a las víctimas de esta infección bacteriana. Puede que esta mujer, Premio Nobel de la Paz, estuviera infectada de lepra, pero no llegó a desarrollar la enfermedad. Y es que el agente patógeno no se declara en todos sus portadores. Esto ocurría ya en la Edad Media. Sin embargo, en aquellas personas cuyo sistema inmunológico no superaba la prueba de la lepra, la afectación era mucho más severa. Hallaban una muerte casi segura en alguna de las numerosas leproserías, es decir, en aquellos centros de acogida en los que se apartaba a los leprosos y se les abandonaba a su suerte.

A la bacteria de la lepra le gusta el frío. Su temperatura de confort está entre los 30 y los 32 grados; por ello coloniza sobre todo las superficies de la piel expuestas, esto es, la nariz, las extremidades o también la boca, que está permanentemente climatizada por la respiración. La *Mycobacterium leprae* se transmite por regla general entre los seres humanos a través del contagio por gotículas, pero para ello se necesita un contacto estrecho. Un sistema inmunológico sano reconoce al agente patógeno, pero no lo puede matar; se lo impide la capa protectora extremadamente gruesa y cerosa de estas micobacterias. En lugar de destruir a las bacterias atacantes, las células del sistema defensivo del cuerpo las revisten de una envoltura. De este modo, no pueden seguir reproduciéndose, pero siguen vivas. Las personas afectadas están infectadas de lepra, pero su sistema inmunológico mantiene a raya la enfermedad.

En caso de debilitamiento, producido, por ejemplo, por otra infección o por una malnutrición, la bacteria de la lepra puede liberarse de su encierro y propagarse por el cuerpo. En ocasiones transcurren décadas hasta llegar a ese punto. Entonces, el sistema inmunológico no ataca a la bacteria, sino al tejido sano que envuelve al agente patógeno de la lepra. En primer lugar, queda destrozada la piel afectada, después los tejidos blandos subyacentes, y, en el caso de un desarrollo muy severo de la enfermedad, resultan afectados también los huesos. Así pues, contrariamente a una creencia errónea bastante extendida, a los enfermos de lepra no se les caen las extremidades del cuerpo, sino que estas son «devoradas por completo» por el propio sistema inmunológico. La exclusión social intensifica la mayoría de las veces la causa de la enfermedad, esto es, el debilitamiento de las defensas del organismo. Las personas afectadas pierden sus relaciones sociales, se alimentan peor, se quedan sin hogar en según qué circunstancias y apenas reciben atención médica. En la actualidad, la lepra sigue siendo un problema frecuente en territorios con un elevado grado de pobreza. En la Europa medieval, este círculo vicioso era la norma.

Dado que la lepra puede afectar a los huesos, los esqueletos de algunos fallecidos muestran claros indicios de la enfermedad, algo muy diferente de lo que ocurre, por ejemplo, con la peste. Los testimonios más tempranos de la enfermedad de la lepra se encontraron en los restos mortales de un ser humano que vivía en la actual India hace, aproximadamente, 4000 años; sin embargo, debido a los ambiguos rastros en los huesos, serían posibles también otras causas de la muerte de ese individuo. El agente patógeno medieval más antiguo que hemos investigado hasta la fecha procede de Great Chesterford, en Inglaterra, donde apareció entre los años 415 y 545. Tales agentes patógenos históricos de la lepra pueden detectarse con relativa facilidad porque su genoma ha quedado mucho mejor preservado que el humano debido a su envoltura cerosa.

Los numerosos registros de lepra en los esqueletos de los europeos de la Edad Media permiten deducir una elevada infestación de la población de entonces, de igual modo que las numerosas leproserías que se construyeron en Europa a partir del siglo VI, aproximadamente. Las malas condiciones higiénicas en las ciudades favorecían las epidemias. Es probable que una gran parte de los europeos de la Baja Edad Media resultaran infectados por esta enfermedad que colgaba como una espada de Damocles sobre los seres humanos, los cuales, por si esto no bastara, resultaban devastados por la peste cada pocas décadas. La sumisión ante la fuerza del destino debió de ser un

rasgo esencial de la sociedad medieval, sobre todo en las ciudades sucias y densamente pobladas que no conocían el alcantarillado ni el agua corriente. La muerte y la enfermedad podían irrumpir en cualquier momento sobre sus habitantes sin previo aviso, y eso sin mencionar los conflictos bélicos de la época.

LEPRA EN LOS PARQUES DE LONDRES

Hoy en día sigue siendo objeto de especulación cómo y de dónde llegó la lepra a Europa. Durante mucho tiempo se consideró que Asia era la tierra originaria de la enfermedad. En primer lugar, a causa del hallazgo de huesos de una antigüedad de 4000 años en la India; en segundo lugar, porque en ese subcontinente siguen registrándose todavía hoy muchos casos de lepra. Sin embargo, la enfermedad tiene también una enorme presencia en África, razón por la cual algunos investigadores suponen que se originó allí la bacteria. Aun así, los análisis genéticos más recientes sugieren que no es necesario mirar tan lejos. Cuando en el año 2018 secuenciamos las bacterias de la lepra de diecisiete europeos que vivieron entre los siglos V y XV, salió a la luz algo asombroso. La totalidad de las cepas de la lepra que están repartidas en la actualidad por todo el mundo ya estaban presentes en Europa durante la Edad Media. En lugar de las dos cepas supuestas, encontramos en esa época todo un abanico de variantes de la *Mycobakterium leprae*. Dado que un máximo de diversidad genética en un territorio es siempre una clara señal del origen geográfico de un organismo, la lepra podría haberse propagado de Europa a Asia, y no a la inversa. Además, la mayoría de las cepas de la lepra con las que enferman en la actualidad los seres humanos de la región del Pacífico, en América y en Oriente Próximo son, al parecer, una importación procedente de Europa.

Se ha derrumbado durante estos últimos años otra de las antiguas certezas, esa que proclamaba que el ser humano era el huésped original de la lepra. De diferente manera que en el caso de la peste, para la lepra no existieron indicios durante mucho tiempo de que la hubiera portado otro animal. La única especie, además de la humana, en la que se encontraron las bacterias era el armadillo americano, que, según se cree, había sido infectado por el ser humano. Y es que los agentes patógenos locales de la lepra en los armadillos se correspondían con aquellos que aparecieron en la Europa medieval. Es evidente que la lepra la llevaron a América los colonos europeos y, una vez allí, pasó a los armadillos, en cuya piel la bacteria se siente muy a gusto hasta

la fecha, lo que a su vez se debe a que tienen una temperatura corporal de, aproximadamente, 32 grados. La mayoría de las infecciones de lepra en Estados Unidos se producen por accidentes con armadillos en la naturaleza, pero en ocasiones también por las veladas con barbacoas. Sobre todo en el sur de Estados Unidos, los armadillos son considerados proveedores de unos filetes muy tiernos. Por desgracia, al deleite gastronómico le sigue un postre en forma de potente cóctel de antibióticos.

CARRERA ARMAMENTISTA ENTRE LOS SERES HUMANOS Y LOS AGENTES PATÓGENOS

Hasta el día de hoy es tan solo una teoría que los genes inmunes de los seres humanos se adaptan a los agentes patógenos. Sin duda hay muchos indicios, pero faltan todavía las pruebas concluyentes. De acuerdo con esta teoría, cuando las bacterias o virus letales diesen con los seres humanos, se impondrían sucesivamente aquellas variantes de los genes inmunes que mejor se las arreglan con estos patógenos. La hipótesis, por ejemplo, de que la peste procedente de la estepa póntica llegó a Europa y mató de forma masiva a los seres humanos hace unos 5000 años (antes o después de la gran inmigración) solo se sostiene si las poblaciones del este presentaban una mayor resistencia a la peste que las del oeste, o que su modo de vida resultaba más adecuado para hacer frente a la propagación de la bacteria. Sin embargo, hasta el momento no se han encontrado indicios de una adaptación genética en las muestras de la Edad de Piedra. Ahora bien, lo que sí es seguro es que fuera de los genes inmunes también pueden ocurrir mutaciones que ofrezcan protección contra los agentes patógenos.

Y es que una mejor resistencia contra las enfermedades puede deberse a modificaciones genéticas realmente perjudiciales, pero que en determinadas circunstancias resultan provechosas. En Cerdeña, por ejemplo, uno de cada nueve habitantes padece talasemia, un defecto genético que dificulta la formación de glóbulos rojos. Las personas afectadas suelen ser menos resistentes físicamente, lo cual es una desventaja desde el punto de vista evolutivo. Sin embargo, durante mucho tiempo esto no fue así, según parece, en Cerdeña, debido a un efecto secundario de la talasemia: esta anomalía hace resistentes a las personas contra la malaria. Esta enfermedad transmitida por los mosquitos campaba a sus anchas en la Antigüedad en el área mediterránea. La frecuente aparición de la talasemia en la isla muestra que la desventaja evolutiva del defecto genético fue superada por la ventaja de la resistencia a la malaria. Esto significa que puede que las personas no demasiado en forma afectadas de talasemia engendraban menos hijos, pero, en cambio, las que no tenían el defecto morían con más frecuencia por la malaria.

En una forma aún más pronunciada puede observarse una relación similar en África oriental, que en la actualidad es una de las regiones más afectadas por la malaria en todo el mundo. En algunas zonas, la mitad de los habitantes hereda del padre o de la madre el defecto genético de la anemia depranocítica y con él, simultáneamente, la resistencia contra la malaria. Ahora bien, todo aquel que hereda esa anemia a la vez del padre y de la madre tiene muy pocas probabilidades de sobrevivir. Estadísticamente, en las regiones en las que la mitad de la población es portadora de la anemia depranocítica, uno de cada cuatro niños muere por esa enfermedad. No obstante, este defecto genético se sigue imponiendo como una ventaja selectiva; la malaria representa una amenaza mucho más letal.

Y un defecto genético útil funciona también contra el virus de la inmunodeficiencia humana (VIH). En las personas afectadas queda dañado el denominado receptor CCR5. Todo aquel que ha heredado este defecto tanto del padre como de la madre puede hacer frente muy bien al VIH. En Europa esto le ocurre a una de cada cien personas. Alrededor de uno de cada diez europeos ha heredado ese gen defectuoso del padre o de la madre, y por esta razón quizá posee una mejor defensa contra el virus VIH. Sin embargo, esta mutación probablemente los hace más propensos a enfermar por el virus del Nilo occidental y por el agente patógeno de la gripe.

Dado que durante mucho tiempo no se conoció a ningún otro huésped del agente patógeno de la lepra y dado que el armadillo americano no entraba en consideración como desencadenante de una epidemia europea, se supuso que el ser humano llevó la lepra a todo el mundo. En el año 2015 pudimos refutar esta suposición. Comparamos el genoma de la lepra con la bacteria estrechamente emparentada de la lepra lepromatosa. Ambas enfermedades provocan los mismos síntomas y no han podido ser diferenciadas clínicamente hasta hace unos pocos años. La comparación de ambas cepas mostró una escisión que se remontaba a entre diez y quince millones de años. Sin embargo, dado que la escisión del ser humano respecto de la línea común con el chimpancé solo se remonta a unos siete millones de años, el ser humano quedaba excluido como huésped originario de la lepra. Esta enfermedad debió de tomar un desvío antes de afectar a los seres humanos.

Unos colegas encontraron en el año 2016 la pista decisiva. De una manera completamente inesperada consiguieron detectar no solo el agente patógeno de la lepra lepromatosa, sino también el de la lepra en ardillas británicas, y además en los ejemplares rojos europeos, de los cuales apenas quedan unos pocos en los parques londinenses porque han sido desplazados por sus parientes de piel grisácea y negra traídas desde América. El antepasado común de la lepra y de la lepra lepromatosa, una bacteria de hábitat terrestre, podría haber saltado a las ardillas durante la ingestión de alimentos, con lo que ambos agentes patógenos se desarrollaron en los roedores. Dado que en la Edad Media las pieles de ardilla eran prendas de vestir codiciadas y caras, y se comercializaban y se llevaban en toda Europa, las bacterias lo tenían fácil para dar con la piel del ser humano como nuevo huésped. Incluso hoy en día, los amantes de las pieles rojizas de ardilla deberían hacerse a la idea de que pueden recibir ocasionalmente el agente patógeno de la lepra como un extra de su caro accesorio.

Desde el siglo XVI, el número de casos de lepra ha ido disminuyendo con claridad en Europa, aunque la enfermedad se mantuvo en el continente hasta

el siglo XX y en la actualidad se presentan casos aislados. Noruega fue uno de los últimos países en los que proliferó la lepra a mediados del siglo XIX, lo cual podría tener que ver con las temperaturas más bajas y, por consiguiente, favorables para la lepra.

LA LEPRA VA, LA TUBERCULOSIS VIENE

Cuando la lepra retrocedió en Europa (tal vez también porque se daban unas mejores condiciones higiénicas), esta situación no trajo consigo un respiro para los seres humanos, porque estos tuvieron que vérselas al mismo tiempo con la tuberculosis. Las micobacterias que desencadenan la tuberculosis y la lepra poseen un grado de parentesco muy cercano. Es concebible que la tuberculosis, transmitida por la infección por medio de gotículas, afectara a más personas y que las inmunizara contra la lepra, de modo que una enfermedad encubriera a la otra. Sea como fuere, la tuberculosis mató a innumerables personas en Europa a partir del siglo XVII, y hasta la fecha es una de las enfermedades infecciosas más peligrosas y más extendidas. Alrededor de ocho millones de seres humanos enferman en todo el mundo de tuberculosis al año; un millón muere. Sin embargo, la tasa de infecciones es mucho más alta, igual que ocurre con la de la lepra. Se calcula que en la actualidad una de cada tres personas en el mundo es portadora de la bacteria de la tuberculosis. Al igual que el agente patógeno de la lepra, está envuelta por una especie de capa cerosa que el sistema inmunológico no puede penetrar sino tan solo recubrir. En los seres humanos inmunodeficientes, las bacterias se propagan por los pulmones, pero también por otros órganos. Los pacientes con una tuberculosis en un estadio avanzado escupen sangre y sufren un continuo agotamiento hasta que las bacterias han consumido el cuerpo, en particular las vías respiratorias. La tuberculosis suele ir acompañada de una piel pálida, una figura demacrada y, en casos graves, de frecuentes esputos de sangre; puede aventurarse que el mito literario del vampiro del siglo XIX se inspiró en esta enfermedad. Hasta el descubrimiento de los antibióticos, la única forma de cura conocida era fortalecer el sistema inmunológico de los pacientes, en sanatorios, por ejemplo.

Apenas hay otra enfermedad infecciosa que haya sido tan bien investigada como la tuberculosis. Sin embargo, no ha sido sino hasta hace unos pocos años cuando hemos comenzado a comprender cómo llegó hasta los seres humanos. Hasta hace no mucho tiempo, esta enfermedad era considerada un daño colateral del Neolítico, pues, además de la tuberculosis humana, existe

también la tuberculosis bovina. Esta sigue estando muy extendida hoy, razón por la cual se pasteuriza la leche y es mejor no beberla sin tratar. Debido a este riesgo de infección conocido desde hace mucho tiempo, la vaca fue considerada desde siempre el animal portador original de la bacteria de la tuberculosis. El ser humano (esto es lo que se suponía) contrajo la enfermedad tras domesticar a la vaca.

A comienzos de la primera década del siglo XXI no quedó más remedio que refutar esa hipótesis. Los médicos comenzaron entonces con la secuenciación de los genomas de la tuberculosis que extrajeron tanto de seres humanos vivos como de animales, y crearon un árbol genealógico. La mayor diversidad genética la presentaban las muestras de personas procedentes de África; las cepas bacterianas de europeos y asiáticos se remontan todas a ese origen. La tuberculosis bovina, en cambio, se escindió a partir de una cepa bacteriana de humanos, y eso ocurrió asimismo en África. Así pues, fuimos nosotros quienes contagiamos a la vaca, y no ella a nosotros. La tuberculosis debió de emigrar de África con el ser humano, esa era la conclusión final. Sin embargo, tampoco esto era del todo cierto.

En Perú, los arqueólogos desenterraron en el año 2010 unas momias de seres humanos, de las cuales tres mostraban signos de haber padecido la tuberculosis. Sus vértebras, de unos mil años de antigüedad, presentaban las deformaciones típicas que se originan cuando las vértebras dorsales devoradas por las bacterias se fracturan en el caso de accesos severos de tos. Pudimos confirmar la sospecha de tuberculosis en el año 2014 con los análisis de genomas realizados con las muestras procedentes de los huesos de las momias. Con ellos quedó claro que la tuberculosis ya campaba a sus anchas por América antes de la llegada de Cristóbal Colón, algo que hasta entonces se había tenido por improbable. Ahora bien, si en la denominada América precolombina existía ya la tuberculosis y esta se propagó con el ser humano desde África hasta allí, solo quedaba una posibilidad para su viaje. La enfermedad debió de llegar hace unos 15 000 años con los inmigrantes procedentes de Asia a través del estrecho de Bering.

Sin embargo, esto no encajaba con el árbol genealógico de los agentes patógenos de la tuberculosis de las momias peruanas. Este árbol genealógico tenía su origen en aquella rama en la que se hallaba la tuberculosis bovina europea. Por medio de la comparación de bacterias modernas de la tuberculosis de todo el mundo y de los agentes patógenos americanos y precolombinos, pudimos calcular además cuándo y dónde habían vivido sus antepasados comunes: hace unos 5000 años en alguna parte de África. Todo

esto se inclinaba claramente en contra de la suposición de que la tuberculosis podría haberse propagado a América con el ser humano. Y es que hace 5000 años, el puente terrestre hacia Alaska llevaba ya mucho tiempo bajo el agua. Así pues, la tuberculosis no pudo llegar por esa vía a América, y mucho menos en una vaca, pues este animal no existía en la América precolombina. De la misma manera quedaba descartado que la tuberculosis llegara a Europa con los seres humanos que habían partido de África, pues esa emigración tuvo lugar hace entre 40 000 y 50 000 años, y no hace 5000.

Durante estos últimos milenios, la bacteria debe de haber llegado a América y a Europa por otras vías, diferentes de las que hasta ahora se han supuesto. En el caso de América estamos entretanto casi seguros de que llegó nadando desde África. Y es que los agentes patógenos que se asemejan a los de la tuberculosis bovina han podido ser detectados también en otros animales, entre ellos en ovejas, cabras, leones y bóvidos salvajes, además de en las focas, cuya cepa bacteriana de la tuberculosis era la más similar a la de las momias. En alguno de estos animales podría haber encontrado la bacteria la forma de llegar desde África hasta Sudamérica a través del Atlántico. Las focas eran una fuente de alimentación codiciada en algunas regiones costeras de América, las bacterias lo tenían muy fácil para infectar a los indígenas. La tuberculosis se propagó desde Sudamérica por todo el continente americano durante los siguientes milenios. Allí se desarrolló una variante de la enfermedad que padecieron, entre otros, las tres personas enterradas como momias en Perú, y de la cual quizá murieron.

En todo el hemisferio austral seguimos encontrando en la actualidad al agente patógeno en las focas. En cambio, los seres humanos ya no son portadores de esta cepa precolombina desde que los europeos sometieron al continente; a partir de esa época tan solo aparecen muestras de la tuberculosis europea. Al parecer, esta fue introducida por los colonos tras la llegada de Colón y podría haber contribuido a las devastadoras disminuciones de población entre los indígenas, cuando las enfermedades europeas diezmaron a humanos en su mayoría indefensos. Este escenario se ajusta al hecho de que no existan indicios de una propagación americana del agente patógeno en los colonos y la consiguiente propagación por Europa. La tuberculosis europea debió de ser claramente más agresiva que la americana. Esta dominancia se muestra hasta nuestros días, pues la cepa europea se ha impuesto a escala global. Por contra, sigue sin aclararse cuándo y por qué vía encontró su camino el agente patógeno de la tuberculosis desde África hasta Europa. Probablemente, la tuberculosis estaba presente en nuestro continente como

muy tarde en la Edad Media, es decir, mucho tiempo antes de que desplegara su fuerza letal en la Edad Moderna.

UNA OLEADA MORTAL DE CIEN AÑOS

El aislamiento de los americanos, con respecto a los europeos, de una duración mínima de 15 000 años (ambos tuvieron antepasados comunes en la región del chico de Mal'ta) podría ser una causa de que muchos de los indígenas nativos murieran tras la llegada de sus parientes lejanos procedentes de Europa. Resulta difícil cuantificar las víctimas de las enfermedades introducidas, sobre todo porque las epidemias eran a menudo el efecto secundario de una cruel política de conquista de la que fueron víctimas innumerables seres humanos y pueblos enteros. En numerosas ocasiones, los invasores belicosos habrán considerado cínicamente las enfermedades como aliados útiles. Según las estimaciones, durante los primeros cien años de la colonización murió hasta el 95 por ciento de los indígenas nativos americanos. Muchos colonos informaban acerca de enfermedades que aniquilaban a los habitantes del Nuevo Mundo, pero que a ellos mismos no les afectaban o por lo menos no acababan matándolos.

Los testimonios históricos de los colonos que se abrieron paso desde la costa oriental del norte de América hacia el sur y hacia el oeste podrían ofrecernos también una impresión de lo que sucedió en Europa hace 5000 años, si hubiera penetrado allí realmente la peste procedente de la estepa. Según los informes, en Estados Unidos no solo morían de enfermedades los indígenas nativos con los que entraban en contacto directo los colonos, sino que las epidemias les precedían en toda regla. A orillas del Mississippi llegaron a poblados abandonados precipitadamente. Esto recuerda el escenario que los arqueólogos reconstruyeron en la región a orillas del mar Negro en la época de la migración esteparia.

Lo que solo puede suponerse para la Europa de la Edad de Piedra puede comprenderse con toda exactitud en la América de la Edad Moderna. El efecto mortífero de la viruela y de la gripe, ambas enfermedades virales, se ha transmitido con claridad. En cambio, hasta hace poco tiempo era un misterio la causa de la denominada «epidemia de cocolitztli», que causó estragos entre los años 1545 y 1550 en el territorio actual de México. Se calcula que entre el 60 y el 90 por ciento de los seres humanos de los países actuales de México y de Guatemala sucumbió entonces a la enfermedad. Gracias a las secuenciaciones del genoma se ha aclarado entretanto de qué murieron tantos

seres humanos. Fue por culpa de la fiebre entérica bacteriana, es decir, por una forma de tifus.

La denominada «fiebre paratifoidea» es provocada por las bacterias *Salmonella enterica paratyphi C*, que se encuentran sobre todo en el aparato digestivo y que desde él pueden colonizar todo el cuerpo. En los infectados, esas bacterias desencadenan una fiebre elevada, deshidratación, estreñimiento y, posteriormente, una diarrea extrema, e infectan a los seres humanos por medio del contacto corporal o por el agua potable o por los alimentos contaminados por excrementos. Por esta razón, el tifus y la fiebre paratifoidea representan en la actualidad una amenaza en los países pobres con malas condiciones higiénicas. Cada año enferman más de diez millones de seres humanos y, aproximadamente, muere un paciente de cada cien.

A mediados del siglo XVI, los habitantes de Centroamérica padecieron, como es obvio, un desarrollo mucho más espectacular de esta enfermedad. También aquí quedaron abandonadas las ciudades, entre ellas Teposcolula (Yucundaa), en el sur de México. Los habitantes de la ciudad huyeron al valle vecino; atrás quedó un gigantesco cementerio epidémico que desde entonces ha permanecido intacto en su mayor parte. En el año 2018 investigamos los restos mortales de veintinueve personas enterradas allí; en diez de ellas encontramos las bacterias de la fiebre paratifoidea. Probablemente, las epidemias en Centroamérica fueron de las más mortíferas de la historia. Sin duda hubo también en Europa brotes de tifus, entre otros a comienzos del siglo XX en los territorios industrializados y densamente poblados del oeste de Alemania. Sin embargo, esas oleadas no alcanzaron, ni de lejos, las proporciones de la epidemia de cocolitztli.

LOS ERRORES DE LA SÍFILIS

La historia euroamericana de la temprana Edad Moderna fue siempre, por consiguiente, una historia de enfermedades en la que sobre todo fueron los seres humanos de la otra orilla del Atlántico quienes tuvieron que padecer los efectos de los agentes patógenos procedentes de Europa. La sífilis tomó la ruta inversa; desembarcó en España con el regreso de la primera expedición de Colón en el año 1493. Con los marineros llegó al Viejo Mundo la enfermedad de transmisión sexual más temida de la Edad Moderna, o eso fue al menos lo que se contó durante mucho tiempo en Europa. Sin embargo, según los investigadores americanos, fueron los europeos quienes llevaron las bacterias al Nuevo Mundo. Los análisis genéticos más recientes de los

agentes patógenos de la sífilis de América y de Europa apuntan a una interacción entre ambos continentes mucho más compleja de lo que se había pensado hasta entonces.

En el año del regreso de los descubridores de América se informaba por primera vez en los puertos del Mediterráneo acerca de una enfermedad desconocida hasta ese momento. En aquel tiempo se desencadenó una guerra entre Francia y Nápoles, y desde el país galo avanzaba hacia Italia un gran ejército compuesto por soldados de muchos países. Cuando los soldados regresaron en 1495 al norte, propagaron esta enfermedad venérea por toda Europa. El continente no se libró de la epidemia durante muchas décadas, sino todo lo contrario: más o menos durante medio siglo fue avanzando cada vez más. La gente bautizó a esta enfermedad con nombres poco creativos, nombres que delataban lo mucho que se asociaba este nuevo azote con los extranjeros. En la mayoría de los países vecinos de Francia, como, por ejemplo, Italia, se la denominó el «mal francés»; los franceses la llamaban el «mal napolitano». Los escoceses hablaban del «mal inglés»; los noruegos, del «mal escocés». Los polacos, a su vez, la tomaron con los napolitanos y los franceses; los rusos tenían localizado el problema en Polonia. No obstante, donde sí existía unanimidad de criterios era en situar las raíces de la sífilis en el Nuevo Mundo y en los barcos de los conquistadores a su regreso de ultramar.

Sobre todo fue a comienzos de su propagación en el siglo XVI cuando la sífilis golpeó con una saña implacable. Las bacterias de esta enfermedad, que se transmiten sobre todo durante los contactos sexuales, se reproducen principalmente en la zona genital. El sistema inmunológico del cuerpo destruye las células circundantes, se originan llagas dolorosas; este, sin embargo, es el proceso benigno que no provoca la muerte. Durante los cincuenta años de la epidemia de sífilis murieron hasta dieciséis millones de seres humanos en la forma de la sífilis especialmente grave, denominada «neurosífilis», que casi no se da ya en la actualidad. En ella, las bacterias, huyendo del sistema inmunológico del cuerpo, se refugian en las células nerviosas, atacan el cerebro y lo devoran, en ocasiones incluyendo también la bóveda craneal. Las personas afectadas enloquecen en ese proceso y fallecen durante una angustiosa agonía.

Esa habilidad de las bacterias de la sífilis para refugiarse en el tejido nervioso dificulta a los arqueogenetistas su detección en los esqueletos. Aunque los huesos presenten las típicas lesiones, ya no es posible encontrar en ellos por regla general ningún ADN del agente patógeno; resulta difícil

aislar las bacterias incluso a partir de pacientes vivos. Para asegurarnos por primera vez unos genomas históricos de los agentes patógenos, investigamos en el año 2018 unos esqueletos muy inusuales. Pertenecían a cinco niños mexicanos que murieron entre 1681 y 1861, y que en su mayoría no llegaron a cumplir siquiera los nueve meses. Yacían enterrados en un antiguo monasterio de la Ciudad de México y mostraban claros signos de sífilis congénita: transmitida por la madre durante el embarazo, puede provocar discapacidades graves y malformaciones. Las bacterias no se habían refugiado todavía en los cuerpos de las criaturas porque el sistema inmunológico inmaduro no las atacaba. Encontramos el ADN de bacterias en tres de los cinco esqueletos, pero para nuestra sorpresa no solo las de la sífilis. Así, uno de los niños había fallecido al parecer por el pian. La sífilis y el pian son subformas de la misma cepa bacteriana, es decir, están estrechamente emparentadas; ambas enfermedades provocan daños del todo similares en el útero.

Este hallazgo fue un indicio de que, en el pasado, las modificaciones en el esqueleto provocadas por el pian podrían haber sido atribuidas de forma equivocada a la sífilis. Esta sospecha quedó corroborada en los últimos años por investigaciones acerca de cinco poblaciones de monos en el África oriental. Los ejemplares investigados presentaban síntomas manifiestos de la sífilis, como, por ejemplo, los genitales agujereados. Sin embargo, cuando secuenciamos los agentes patógenos junto con colegas del Instituto Robert Koch, encontramos en cada uno de los casos que los animales habían enfermado de pian.

La secuenciación de los agentes patógenos en los bebés sudamericanos y en los monos africanos hizo posible una nueva visión de la sífilis. La enfermedad podría haber tenido una hermana muy similar en los siglos anteriores, que no fue reconocida como tal por error. Y esto permite una interpretación diferente de la sífilis y de su historia. Esta enfermedad podría haber llegado de América a Europa con el regreso de los descubridores. En contrapartida, los europeos podrían haber llevado el pian al Nuevo Mundo. Estos regalitos mortíferos de transmisión sexual serían, por tanto, un intercambio mutuo en las primeras relaciones transatlánticas.

Los monos africanos aparecen como la población originaria en la que estaba presente el antepasado común del pian y de la sífilis. Según la teoría, la bacteria pasó de ellos al ser humano. Hace entre 50 000 y 40 000 años se escindieron las dos bacterias, es decir, en la época en la que el ser humano moderno salió de África y se extendió por todo el planeta. Los indígenas

nativos de América que inmigraron por el puente terrestre de Bering podrían haber llevado consigo la enfermedad que en los siguientes 15 000 años evolucionaría hasta convertirse en la sífilis moderna. En África, en cambio, evolucionó el pian. Sigue sin tener respuesta la cuestión de cuándo llegó a Europa. Sin embargo, hay muchos indicios que muestran que también esta enfermedad existía en el continente europeo ya en la Edad Media. Así, por ejemplo, en Gran Bretaña, numerosos esqueletos de una época anterior al año 1493 presentan rastros claros de la sífilis. Hasta ahora, esos hallazgos se han aducido con frecuencia como indicios de que la enfermedad ya existía en Europa antes del descubrimiento de América. Sin embargo, estamos casi seguros de que los fallecidos en cuestión padecieron de pian.

UN PELIGRO SUBESTIMADO

Para la mayoría de los habitantes del mundo occidental, la peste, la lepra, la fiebre paratifoidea, la tuberculosis y la sífilis no son más que fantasmas de tiempos pasados, ya no ven un peligro letal en esas enfermedades bacterianas. Las terribles pandemias de virus las han desplazado de la conciencia colectiva en gran medida, como, por ejemplo, la llamada «gripe española» que entre 1918 y 1919 costó casi tantas vidas humanas como la Primera Guerra Mundial. O la viruela, que no fue erradicada hasta los años setenta del siglo pasado, tras un historial de vacunaciones de casi trescientos años. O el virus de la inmunodeficiencia humana, que desde los años ochenta ha costado la vida, aproximadamente, a cuarenta millones de seres humanos. No obstante, aunque se ha podido mantener a raya a las enfermedades bacterianas en Europa desde hace unos cien años, no hay ningún motivo para que cese la alarma. Y es que estamos muy lejos de hacer que las bacterias se vuelvan inofensivas. Más bien debemos suponer que los azotes de la Edad Media podrían regresar dentro de unas pocas décadas. Ya hay señales al respecto.

La epidemia de tuberculosis que comenzó en el siglo XVI sigue en pleno apogeo en la actualidad. El hecho de que millones de seres humanos sean portadores de la bacteria, pero que no debamos temerla ya, se lo debemos sobre todo a la entrada en escena de los antibióticos a mediados del siglo XX. Gracias a esta medicina milagrosa, la gente pudo sentirse de repente no solo segura frente la tuberculosis, sino frente a casi todas las enfermedades bacterianas. Se trató de una ilusión, tal como sabemos hoy. Debido al empleo masivo de antibióticos tanto en la cría de animales como en la medicina humana, cada vez más bacterias están desarrollando resistencias. Entretanto

conocemos toda una serie de cepas de la tuberculosis que son resistentes a varios antibióticos. Contra algunas de ellas, las sustancias activas disponibles eran de escasa ayuda ya en los años setenta. Las bacterias son muy adaptables, con frecuencia aparecen resistencias al cabo de un año de la introducción de un nuevo antibiótico. Dicho de otra manera, la mayoría de las veces la medicina solo tiene una ventaja de unos pocos años frente a los agentes patógenos de la tuberculosis. Para una bacteria que lleva manteniéndose dentro de la población humana desde hace unos 5000 años, el desarrollo innovador de los antibióticos podría parecerle un pequeño contratiempo en una larga carrera de fondo. Ya a mediados del siglo XXI, muchos pacientes de tuberculosis podrían estar infectados con bacterias completamente resistentes.

Las bacterias multirresistentes y el amenazador estado de emergencia por los antibióticos son parte de la «tercera transición epidemiológica» que se está perfilando y a la que se enfrenta el planeta. La primera tuvo lugar cuando los seres humanos se hicieron agricultores y convivieron estrechamente con los animales, infectándose con sus agentes patógenos y propagándolos en sus asentamientos. La segunda transición se produjo hace muy poco tiempo, con la introducción de las normas de higiene en el siglo XIX y con la revolución de los antibióticos en el siglo XX, a consecuencia de lo cual las enfermedades bacterianas perdieron importancia y se propagaron las «enfermedades del bienestar», sobre todo en los países occidentales. En la actualidad, las enfermedades cardiovasculares y la diabetes son las principales causas de muerte en lugar de la tuberculosis, la peste o el cólera. En la tercera fase, las antiguas enfermedades podrían regresar incluso a las regiones prósperas del mundo. En muchos países pobres, los muertos por la lepra, el tifus, la tuberculosis y hasta por la peste son de nuevo la norma o siguen siéndolo. La sífilis está penetrando hoy en Europa, lenta pero firmemente. Esto se relaciona con el hecho de que mientras tanto es posible el tratamiento de la infección de la inmunodeficiencia, aunque no se cure. Cada vez más personas renuncian a los preservativos en vista de la aparente ausencia de riesgos. Y eso es un juego peligroso porque el agente patógeno de la sífilis, al igual que los de otras enfermedades venéreas, se está volviendo cada vez más resistente a los antibióticos.

No obstante, puede excluirse un escenario en el que las bacterias se topen con poblaciones todavía intactas y, por ello, especialmente vulnerables. Situaciones como las creadas con la inmigración procedente de la estepa hace 5000 años o con la colonización de América desde finales del siglo XV hace

ya mucho que no existen. En la actualidad viven en el planeta, aproximadamente, quinientas veces más humanos que en la Edad de Piedra y quince veces más que en la época de Colón. Las personas se han vuelto cada vez más móviles y solo en las últimas tres décadas se ha doblado el número de los viajes anuales en avión en todo el mundo. Los europeos pertenecen al grupo de los humanos más móviles, viajan como turistas alrededor del globo terráqueo y aseguran la constante globalización de los virus y de las bacterias. La movilidad y las enfermedades infecciosas están interrelacionadas desde el Neolítico, y según todas las previsiones esto no va a cambiar.

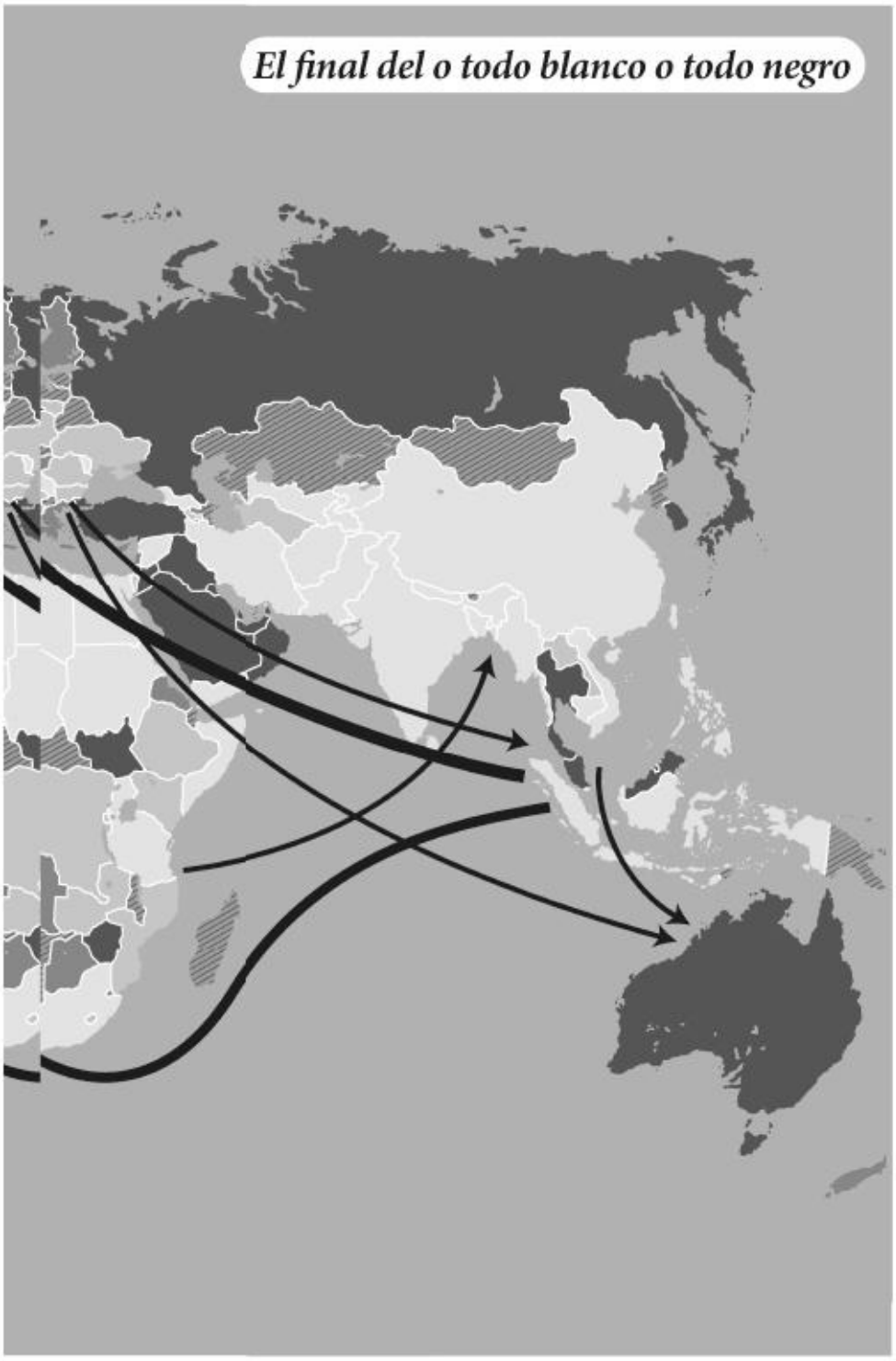
Ante este telón de fondo, a la arqueogenética le corresponde un papel que va más allá del interés por el conocimiento arqueológico. Comparando agentes patógenos viejos y nuevos, y entendiendo cómo se han desarrollado evolutivamente en los últimos años y siglos y lo que el ADN de los seres humanos les contrapuso, estamos ayudando a la medicina a poder mantener esta carrera armamentista incluso en el futuro. El hecho de que en menos de un siglo el ser humano consiguiera pasar de víctima mayoritariamente indefensa frente a bacterias y a virus a convertirse en un oponente de igual a igual es uno de los muchos giros fascinantes de nuestra evolución. Ahora lo importante es no desperdiciar esa ventaja.

Conclusión

El final del o todo blanco o todo negro

Cualquier tiempo pasado fue peor. No somos ningún pueblo. El bloque negro en África. El miedo ante el ser humano móvil. La inteligencia está repartida con uniforme injusticia. El ser humano se confecciona su propia evolución. Los límites y las fronteras caen.

Migración neta en el año 2012 (en miles)
Ganancias de 100 o más
Ganancias de 20 hasta 99
Ganancias de 19 hasta pérdidas de 19
Pérdidas de 20 hasta 99
Pérdidas de 100 o más


El final del o todo blanco o todo negro

NADA DE ROMANTICISMO, NADA DE FATALISMO

En el mes de junio de 2018, Donald Trump agarró su teléfono inteligente y apeló al temor profundamente arraigado en muchos seres humanos de que la inmigración va acompañada de una importación de la violencia y de las enfermedades. Las bandas criminales —tuiteó este nieto de inmigrantes de Escocia y del Palatinado— «acudirán en masa» al país y lo «infestarán» de violencia. Trump ni tan siquiera se esforzó por ofrecer la mayor ambigüedad posible cuando empleó nada menos que el verbo «infestar», que por regla general se utiliza en el contexto médico y que sugiere un peligro de contagio infeccioso. Las reacciones tanto entre los seguidores como entre los detractores del presidente de Estados Unidos de América mostraron que el mensaje había sido recibido.

La equiparación de la migración con las enfermedades y con la violencia no es ya tampoco en Europa un fenómeno social marginal, sino la hoja de ruta de algunos gobiernos que también han accedido al poder gracias a sus promesas de combatir la inmigración. Su mensaje —haciendo uso de la misma imagen— se propaga desde hace años por la sociedad occidental como un virus particularmente agresivo. Para muchos, la migración, la violencia y las enfermedades son entretanto una mezcla inseparable: las enfermedades «invaden», las sociedades son «infectadas» con la violencia, los refugiados «arrollan» Europa, el «bastión» amenaza con caer.

En grandes zonas del mundo occidental, la migración posee unas connotaciones absolutamente negativas. Esto no es nada nuevo y, por supuesto, tampoco es un fenómeno occidental. Desde siempre y más allá de todas las fronteras, las reservas en contra de los inmigrantes se han basado en el miedo a la violencia y a las enfermedades, así como en el temor a que la cultura propia pudiera verse amenazada o incluso desplazada por una cultura foránea. No es ningún asunto trivial oponerse con argumentos a esos temores. Y es que los nuevos hallazgos de la arqueogenética sobre la historia de las migraciones en Europa podrían ofrecer una nueva dinámica a ese debate; una dinámica, si se quiere, fundamentada en la historia. En ella —así lo parece— hay algo para cada bando, incluso para aquellos que no ven en la migración las raíces de Europa, sino el mal eterno del continente.

Gracias a los análisis genéticos, tenemos desde hace unos pocos años una imagen muy precisa de cómo transcurrió la revolución neolítica que comenzó en Europa hace 8000 años. Para los arqueólogos, el hecho de que los seres

humanos se pasaran a la agricultura era ya un asunto conocido desde hacía tiempo. Sin embargo, muchos científicos (y no en último lugar los de lengua alemana) caracterizaban esa revolución no como un gran cambio radical, sino como una transición fluida. Según esta visión, la agricultura terminó por imponerse porque fue transmitida como una antorcha del progreso desde Oriente Próximo hasta los últimos rincones de Europa para plantar en los seres humanos un conocimiento nuevo y en los suelos, cereales. Esta versión de la historia, de tendencia buenista, nunca dejó de ser controvertida. Sin embargo, es ahora cuando podemos decir con certeza que la agricultura llegó desde Oriente Próximo con grandes familias de inmigrantes, ante las cuales tuvieron que replegarse los habitantes arraigados en esos territorios. Dado que durante muchos siglos apenas entraron en contacto los antiguos y los nuevos moradores, puede hablarse en efecto de un desplazamiento cultural. El Neolítico es, por consiguiente, un paradigma del ocaso de «Occidente» y del triunfo de «Oriente», si bien Occidente estaba representado en esa época por una sociedad extremadamente sencilla en la que los seres humanos vagaban por bosques y praderas, y los inmigrantes procedentes de Oriente Próximo, con su estilo de vida completamente nuevo, encarnaban una sociedad superior.

Mientras que la revolución neolítica puede seguir entendiéndose como una toma de posesión de Europa, mayoritariamente pacífica, si bien no solicitada, por parte de poblaciones foráneas, resulta muy difícil decir lo mismo para la gran inmigración que comenzó hace unos 5000 años. En el Neolítico, los inmigrantes de Oriente Próximo se toparon con un continente todavía muy poco poblado que les ofrecía —a ellos y a los ya establecidos— tanto espacio y tanta alimentación que la población pudo aumentar más rápidamente que nunca. Cuando tres mil años después los europeos nuevos llegaron de la estepa, se encontraron al parecer con una población debilitada; la peste acarreada desde la estepa podría haber sido la responsable. Así pues, la historia de la inmigración en la Edad del Bronce sería un paradigma de movimientos migratorios que trajeron enfermedades y muerte. O, visto de una manera alternativa, sería un ejemplo temprano de inmigrantes violentos que no dejaron piedra sobre piedra en las tierras de destino de su viaje.

Los seres humanos que viven en la actualidad en el continente son, por tanto, el producto de una movilidad que se remonta a miles de años atrás, en la que siempre hubo intercambio, desplazamiento, combates y seguramente también una gran cantidad de sufrimiento. No existe ningún motivo para contemplar a los europeos actuales como descendientes de las víctimas de

aquellos cambios radicales. Si observamos el poblamiento europeo como el drama que fue una y otra vez, entonces, gracias a los resultados de las pruebas genéticas, los seres humanos que en la actualidad pueden contarlo son (como mínimo en un 70 por ciento) descendientes de los antihéroes, es decir, de aquellos migrantes que llegaron al continente, respectivamente, hace 8000 y 5000 años, y lo sometieron. El acervo genético de cazadores y recolectores, que había sido dominante hasta entonces, en la actualidad es minoritario, si bien representa uno de los tres pilares en el ADN de los europeos. A pesar de que los datos genéticos nos proporcionan una visión muy amplia y detallada de las corrientes humanas de aquellos tiempos, solo poseemos un mosaico muy incompleto, cuyas lagunas dejan un espacio holgado para las interpretaciones. Ahora bien, lo que sí es seguro es que la historia temprana de las migraciones en Europa no resulta apropiada ni para romanticismos, ni para fatalismos. No. La migración no transcurrió casi nunca de una manera completamente pacífica, y sí, admitámoslo, sin ella el continente no habría llegado tan lejos a como es en la actualidad. Una Europa prehistórica, sin migración, habría sido una Europa despoblada, pero, eso sí, con una flora y una fauna despampanantes.

Nunca existieron los «europeos primigenios» profundamente arraigados. Si se atribuye ese papel a los cazadores y recolectores por su sola presencia de decenas de miles de años de duración, uno entra enseguida en apuros argumentativos. En primer lugar, porque aquellos cazadores primitivos no fueron los primeros y desplazaron por su parte a los moradores que vivían aquí, tal como testimonia ese 2 por ciento de ADN neandertal (también los neandertales llegaron probablemente cuando ya vivían aquí formas de *Homo erectus* que asimismo tuvieron que batirse en retirada). En segundo lugar, los cazadores y recolectores resultan inapropiados en exceso como proyecto alternativo frente a la migración humana. A estos moradores tempranos de Europa apenas podría resultarles más ajeno un modo de vida reducido a un territorio limitado. Los cazadores y recolectores eran europeos instintivos y ciudadanos universales. Iban allí donde los llevaba la vida, no conocían ningún hogar, ninguna patria, sino solo una tierra amplia llena de posibilidades. La idea del terrón propio de tierra la trajeron consigo los campesinos anatolios. Clavaron estacas en el suelo y declararon suyo aquel pedazo de tierra. Así pues, los enemigos de la movilidad humana, si quieren argumentar desde un punto de vista protohistórico, tienen que remitirse a una importación cultural debida a una de las mayores oleadas migratorias en Europa.

EL DESEO DE BOSQUES Y DE PRADERAS

Sin duda, a muchas personas les resulta fascinante en la actualidad la época de los cazadores y recolectores, superada de forma gradual hace 8000 años. Asocian ese modo de vida con una libertad que ya no existe hoy. Todos los excursionistas que se abren camino por la naturaleza (domesticada) con mochilas y tiendas de campaña, o incluso los numerosos cazadores y pescadores de caña, dan testimonio de un insaciable deseo de un modo de vida percibido como «originario». Ahí hay mucha transfiguración embellecedora, pues los humanos de entonces no solo se alimentaban de carne en filetes, sino de todo lo que caía entre sus manos, ya fueran caracoles, insectos u otros bichos. Claro está, su organismo estaba muy bien adaptado a esa alimentación, y el organismo humano no ha acabado de digerir hoy del todo el cambio a la dieta pesada de carbohidratos del Neolítico. Ahora bien, extraer de ahí la conclusión de que todo lo que llegó a Europa con y después del Neolítico apartó a los seres humanos del modo de vida destinado a ellos constituye un juicio erróneo de cariz casi religioso. Desde que el ser humano comenzó a probar a caminar erguido y a fabricar herramientas para la caza, tomó su destino en sus propias manos, a diferencia de la totalidad de los demás seres vivos. Si hubiera sido una característica esencial del ser humano vivir como siempre había vivido, hoy no sería lo que es.

Sin embargo, son muchas las personas de las sociedades modernas que comparten ese anhelo irracional por los «orígenes». Se adhieren a paleodietas siguiendo presuntamente el modelo de los humanos de la Edad de Piedra. Juran fidelidad a los procedimientos de la medicina naturopática. Producen cantidades ingentes de partículas en suspensión para calentarse al fuego de las chimeneas. Y en ocasiones ponen en peligro su vida al renunciar a la medicina oficial moderna y al negar a sus hijos e hijas las vacunas con el argumento de que antiguamente la humanidad sobrevivió sin una inmunización específica. Esto es cierto, sí, solo que justo por ello morían muchísimos individuos de enfermedades que en la actualidad tienen un tratamiento sencillo. Incluso la chamana de Bad Dürrenberg, que bien podría valernos como icono de la época de los cazadores y recolectores, apenas completó los años de su adolescencia antes de abandonar este mundo, quizá como consecuencia de una infección. La naturaleza tenía todo un abanico de variantes durante la Edad de Piedra para poner un punto final prematuro a una vida. Y sí, de acuerdo, los infartos de miocardio, la diabetes y los derrames cerebrales no eran la norma, pues los humanos se alimentaban con una dieta

demasiado equilibrada para sufrir esas dolencias, pero tampoco llegaban a hacerse lo bastante mayores para padecerlas. También la cifra de enfermos de cáncer está incrementándose en la actualidad, sobre todo en los países ricos, porque es una enfermedad típica de la vejez.

La vida de los habitantes actuales de Europa es la más confortable que ha habido nunca en la historia de la humanidad. Se la debemos asimismo a las inmigraciones de la Edad de Piedra y de la Edad del Bronce. Con la agricultura se establecieron en Europa protoformas de estructuras urbanas, en las cuales los seres humanos ya no dependían de las familias o de pequeñas agrupaciones, sino que podían apoyarse en la solidaridad y en el respaldo de los asentamientos. Con ayuda de la economía del acopio y del almacenaje de las provisiones, los seres humanos fueron emancipándose de la caprichosa inestabilidad de la naturaleza, si bien las sequías o las crisis climáticas los colocaban y siguen colocándolos una y otra vez ante problemas existenciales. Fue la inmigración procedente de la estepa la que sentó los cimientos de una Europa de las jerarquías, de la división del trabajo y de las innovaciones, y, por consiguiente, de un continente que, como muy tarde en la Edad Moderna, ha fertilizado y ha marcado todo el planeta con su tecnología y su conocimiento.

Cuando los colonos europeos explotaron las riquezas de América y cuando los Estados Unidos de América ascendieron, después de la Segunda Guerra Mundial, a la categoría de potencia hegemónica desde un punto de vista económico y cultural, todo ello fue también la continuación de la extraordinaria historia de progreso de Europa. Del continente en el que los inmigrantes dejaron su impronta durante milenios, llegaron migrantes al Nuevo Mundo cruzando el Atlántico para repetir la historia una vez más, con todas las crueles consecuencias que estas acarrearon a los indígenas nativos. El avance de la humanidad tampoco pudo distinguirse en este caso de una invasión militar. Cabe señalar que las inmigraciones protohistóricas y la oleada que desencadenó Cristóbal Colón en 1492 difícilmente pueden equipararse en un enjuiciamiento moral. Después de todo, la colonización de América tuvo lugar en el contexto de unas normas tanto religiosas como jurídicas y de unos límites morales que muchos colonos europeos conocían a la perfección y que pisotearon con absoluta conciencia de ello. En cambio, en la protohistoria quizá no existían aún esas normas, sino que imperaba el brutal «estado natural», que solo fue contenido gracias al posterior surgimiento de las sociedades y de las civilizaciones humanas.

¿SE HA REHABILITADO A LA GENÉTICA?

La brutalidad de las expansiones europeas de la Edad Moderna se ha transmitido con la historia, si bien con frecuencia solo desde la perspectiva de los invasores. Durante mucho tiempo solo tuvimos algunas vagas ideas acerca de las inmigraciones protohistóricas a Europa y teorías que, en parte, eran abiertamente hostiles entre sí. La arqueogenética ha arrojado mucha luz en esta oscuridad durante estos últimos años, si bien algunos rincones siguen sin estar iluminados. Gracias a la secuenciación, los genomas prehistóricos y actuales se convierten en cuadernos de bitácora que relatan historias personales y mezclas genéticas. De ahí se extrae una conclusión con la que hay que aprender a lidiar en primer lugar: la genética se ha convertido en un elemento esencial de la historiografía.

Describir esto como un desafío ético y científico sería una clara forma de minimizar el problema, sobre todo en el espacio lingüístico alemán. No en vano, fueron los nacionalsocialistas quienes pusieron en práctica de un modo brutal el delirio de que la historia, en definitiva, no era otra cosa que la lucha entre «razas». Muchos arqueólogos postularon durante ese periodo que la hegemonía de las culturas (léase «pueblos» o «naciones»; léase «poblaciones») iba acompañada de una superioridad genética. Revistieron esa afirmación con la hipótesis de que la Edad del Bronce no había comenzado en Europa con el aprendizaje de nuevas técnicas, sino con la migración de los «guerreros de las hachas de guerra» desde Escandinavia. En su opinión, estos pueblos «nórdicos» eran superiores a otros y, por consiguiente, fueron la fuerza motriz del progreso y, además, quienes trajeron las lenguas germánicas. Resultaba difícil hacer concordar esta interpretación nacionalsocialista de la historia con los numerosos hallazgos arqueológicos, pero ofreció los cimientos ideológicos para atribuir una inferioridad condicionada por la genética a otras «razas», por ejemplo, en la Europa oriental. Así pues, no es de extrañar que después de la Segunda Guerra Mundial muchos arqueólogos en Alemania rechazaran la idea de que la propagación de técnicas culturales y de lenguas estaba estrechamente relacionada con los pueblos migrantes. Así, en general, se decía que el Neolítico y la Edad del Bronce se habían expandido por Europa cuando los seres humanos que vivían allí aprendieron y asumieron las nuevas técnicas.

Ahora bien, los datos genéticos demuestran lo contrario. De hecho, los dos grandes cambios de época en la protohistoria no pueden separarse de las

oleadas migratorias en las que los humanos inmigrantes desplazaron a la mayor parte de los habitantes existentes hasta ese momento. Los nacionalsocialistas no se alegraron mucho con el hecho de que el progreso llegara hace 8000 años desde Anatolia y hace 5000 años desde la Europa oriental; pero esos nuevos hallazgos podían entenderse en conjunto como una rehabilitación parcial de las hipótesis arqueológicas de la primera mitad del siglo XX, aunque eso sería pensar con demasiada simpleza. Un examen minucioso de los datos genéticos revela una interacción compleja entre migración e intercambio cultural que no permite una delimitación por pueblos.

La agricultura llegó a Europa sin duda procedente de Anatolia, después de que los cazadores y recolectores de la Media Luna Fértil la hubieran desarrollado allí; sin embargo, esto había que atribuirlo en gran medida a un clima que se estaba volviendo más cálido en esa región y a una variedad de cereales silvestres que crecían y podían cultivarse allí. La inmigración procedente de la estepa sirve muy poco como prueba de que el progreso se origina desde la superioridad de una población determinada. Y es que los moradores de las estepas se remontan tanto a los inmigrantes procedentes de Oriente Próximo como a los cazadores y recolectores arraigados allí. A Occidente se trajeron el oficio del procesamiento del bronce, es verdad, pero el salto del nomadismo a la agricultura no lo dieron hasta asentarse en Europa. Aquí adoptaron en buena medida el modo de vida local y lo enriquecieron con técnicas innovadoras. Así pues, además de la migración, el intercambio desempeñó siempre un papel decisivo. Nosotros, los europeos, somos el producto de esos procesos, en nuestros genes pueden leerse en la actualidad las huellas de la inmigración, del desplazamiento y de la cooperación.

LAS FRONTERAS NACIONALES NO SON FRONTERAS GENÉTICAS

Ningún ser humano es portador de unos genes que lo identifiquen como miembro «puro» de una etnia determinada. Han quedado extensamente refutadas aquellas antiguas ideas rebuscadas y traídas a colación una y otra vez acerca de que existen características así como los genes especiales de los germanos, de los celtas, de los escandinavos o incluso de nacionalidades concretas. Sin duda, las frecuencias de determinadas variantes genéticas se desplazan uniformemente desde la península Ibérica hasta los Urales, y sobre esta base los genetistas pueden decir también de dónde procede un individuo;

sin embargo, el intento de concordar esas diferencias genéticas con las fronteras nacionales posee, aproximadamente, las mismas probabilidades de éxito que la pretensión de subdividir un círculo iridiscente en colores particulares. Las transiciones y los matices son difusos tanto en un caso como en otro, de modo que entre dos individuos (o colores) solo puede medirse una distancia, pero no es posible ninguna formación de grupos, al menos ninguna que pueda fundamentarse de manera racional.

Una mujer corriente de Friburgo de Brisgovia puede ser más similar genéticamente a una mujer de Estrasburgo que a un hombre de Heidelberg, a pesar de que la una vive en el país vecino y el otro en el mismo estado federado alemán. Para superar la diferencia genética entre una mujer de Flensburgo y un hombre de Passau, habría que atravesar en el sudeste de Europa aproximadamente una media docena de fronteras y, por consiguiente, una región sacudida en los años noventa del siglo pasado por guerras sangrientas a causa de diferencias étnicas supuestamente verdaderas. En Europa existe un desplazamiento genético regular en una dirección, es un gradiente con el que puede dibujarse un mapa fiable; sin embargo, de él no resulta ningún mapa en el que se perfilen fronteras nacionales. Las únicas excepciones son islas como Islandia o, con mucha mayor claridad, Cerdeña. Allí donde a lo largo del tiempo fue escaso el intercambio genético, el ADN de las poblaciones es más homogéneo que en otros lugares.

El principio de los gradientes sirve para todo el mundo. No existe algo así como una ruptura en los Urales o en el Bósforo, las fronteras geográficas de Europa. Ni siquiera en la otra orilla del Mediterráneo la gente posee de pronto un ADN completamente distinto. Los desplazamientos genéticos se llevan a cabo de una manera bastante fiable a lo largo de las direcciones en las que se expandieron por todo el mundo los primeros seres humanos modernos partiendo desde la región subsahariana. Es así como los norteafricanos son más próximos en su genoma a los europeos y a los asiáticos occidentales, porque estas regiones fueron las primeras en ser colonizadas desde África y porque los seres humanos intercambiaron después sus genes. Mayor es la diferencia genética con los habitantes de la región del Pacífico; tanto más en relación con los habitantes originarios del norte de América; y la mayor diferencia se produce con respecto a los indígenas de Sudamérica, pues esta parte del continente fue el último territorio en ser colonizado por los seres humanos. Desde el África oriental hasta Tierra del Fuego, las poblaciones tienden a estar tanto más emparentadas cuanto mayor es su proximidad geográfica. Tampoco son una excepción, en general, las minorías étnicas. De

esta manera, los miembros de la etnia sorbia no pueden distinguirse de ningún modo desde un punto de vista genético de los sajones, brandemburgueses y polacos de los alrededores, ni los vascos pueden distinguirse tampoco de los españoles, ni de los franceses de las regiones circundantes.

Las delimitaciones manifestadas sobre todo por medio del idioma se deben únicamente a procesos culturales y políticos de diferenciación y hacen que las sociedades sean más diversas, pero la convivencia también resulta, en ocasiones, más conflictiva. Las justificaciones genéticas para los conflictos étnicos ya no deben o, por lo menos, no deberían existir hoy, y esto es un mérito de la genética. Sin embargo, mucha gente (sobre todo a causa de afirmaciones del siglo pasado sin ninguna base científica) piensa de una manera absurda que la ciencia hace justo lo contrario, esto es, reintroducir subrepticiamente la argumentación genética en la caja de las herramientas de las ideologías nacionalistas. Y eso que la genética y la doctrina racial no casan la una con la otra, y hoy menos que nunca.

ÁFRICA, EL BLOQUE NEGRO

Existe una gran familia genética en el planeta, pero la mayor diversidad se encuentra en el continente africano. Esto se debe a su papel de cuna de la humanidad. El árbol genealógico de los seres humanos modernos tiene sus raíces en él; mientras se expandían por todo el mundo, lo hacían también en la gigantesca África, donde en la actualidad existe la mayoría de las ramificaciones y bifurcaciones en el acervo genético. El principio de la relación entre la proximidad geográfica y la genética es válido también en África, solo que ahí los desplazamientos son mucho más grandes que en el resto del mundo. En concreto, las diferencias en el ADN de los habitantes de África oriental y de África occidental son, aproximadamente, el doble que las existentes entre europeos y asiáticos orientales. Así pues, desde el punto de vista genético, todos los seres humanos de la Tierra forman parte de la diversidad africana. Lo único que distingue a los seres humanos fuera de África de los seres humanos del continente de origen es su parentesco con el neandertal, y en el caso de los habitantes de Australia y de Oceanía, con la influencia añadida de los denisovanos.

A pesar de estos hechos fundamentales, África les parece a muchos no africanos una entidad casi homogénea porque sus habitantes se distinguen exteriormente de la mayoría de los demás seres humanos por el color de la piel. Sin embargo, el África subsahariana es el hogar de más de novecientos

millones de seres humanos, casi una octava parte de la humanidad. Desde un punto de vista genético, allí existe un espectro muchísimo más amplio que en el resto del mundo. A pesar de ello, muchos siguen empeñados en unificar la diversidad africana, que, por ejemplo, contrasta del todo con la europea. Es cierto que hoy apenas se oye hablar del «África negra», una expresión popularizada en la época colonial para los territorios situados al sur del desierto del Sáhara, pero se han establecido otros términos que apuntan en la misma dirección. Se denomina «negros» a los habitantes subsaharianos y a sus descendientes en todo el mundo, y son denominados así, entre otros motivos, para distinguirlos de los «blancos». La Oficina del Censo de los Estados Unidos de América preguntaba hace no mucho, en el censo del año 2000, a qué «raza» pertenecían los ciudadanos; también en este caso todas las personas con antepasados subsaharianos fueron clasificadas como «negras».

Está claro que la división en diferentes tipos no es racista de por sí, sino que más bien expresa la necesidad del ser humano de clasificarse y de encasillarse. Ahora bien, en vista de la subdivisión de los seres humanos por las diferentes tonalidades de su piel queda manifiestamente claro lo inútil de tal empeño. Así, un irlandés común tiene una piel a todas luces más clara que una habitante del sur de Italia y, sin embargo, ambos son considerados «blancos». Por otro lado, en según qué circunstancias, los sardos morenos o los anatolios son difíciles de distinguir por el color de su piel de los joisanes sudafricanos, a quienes a su vez les parecería desacertado, con razón, que se les notificara que poseen, por ejemplo, el mismo color de piel que una congoleña. Y, aun así, en ambos casos pasan por ser «negros».

El hecho de que no pueden categorizarse los colores de la piel debería quedarles claro a las personas en cuanto pisan la sección de maquillaje de una droguería bien surtida y sus ojos se enfrentan a una inmensa gama de matices cromáticos. No obstante, en comparación con otros rasgos físicos, la visibilidad ocular del origen «negro» sigue teniendo en la actualidad una influencia desproporcionada en la percepción de los individuos. Si esto no fuera así, seguramente se habría debatido con mucha mayor frecuencia sobre las raíces irlandesas y escocesas de Barack Obama, el primer presidente «negro» de los Estados Unidos de América, lo que no fue el caso. Hoy sabemos que son diferentes genes los que influyen en el color de la piel de un ser humano y, en consonancia, sus transiciones se difuminan. Sin embargo, seguimos estando todavía muy lejos de una comprensión de las diferencias graduales. También resulta lógico que se dé tanta importancia al color de la

piel, ya que, después de todo, apenas existe otro rasgo físico que pueda captarse con tanta rapidez.

De hecho, a primera vista hay algunas razones comprensibles para clasificar a las personas por su origen geográfico, para lo cual el color de la piel suministra, por lo menos, un indicio. A un oncólogo que está tratando a un paciente del África occidental le resulta importante saber que en su región de origen es muy común un gen que causa cáncer de próstata. Sin embargo, esto sigue estando lejos de ser un diagnóstico. Las enfermedades y la eficacia de los medicamentos están repartidas de una manera desigual a escala regional y, aun así, el origen genético solo puede señalar ciertas posibilidades. Así, los defectos genéticos que hacen a una persona resistente a la malaria, pero que pueden conducir al mismo tiempo a una intolerancia hacia ciertos medicamentos, aparecen con mayor frecuencia en África, por ejemplo, pero únicamente en determinadas zonas y, dentro de ellas, solo en algunas personas.

En las últimas décadas puede que el origen de cada individuo haya sido un indicio importante y que debe tomarse en serio para calibrar los riesgos y las probabilidades de éxito en la medicina. En la actualidad, sin embargo, eso ha quedado superado ya. Gracias al progreso científico puede investigarse el genoma de un paciente en concreto sin mayores dificultades y obtener de esta manera unos perfiles médicos mucho más fiables. Ya no se trabaja con «razas», etnias o con orígenes genéticos, sino que se comprende a cada ser humano como lo que es, una mezcla única de ADN. Al menos en la medicina podría establecerse tal vez dentro de diez años esta visión igualitaria; al fin y al cabo, los análisis de genomas se están abaratando cada vez más. No obstante, y esto es lo que nos muestra la experiencia histórica, en la amplia sociedad general probablemente continuará existiendo durante mucho tiempo la necesidad de diferenciar mediante los rasgos externos.

ESO DE «PUEBLO» Y «RAZA» SON COSAS DE «ÉRASE UNA VEZ»

Mientras tanto, la evolución genética de los seres humanos apunta en una dirección completamente distinta. Desde hace algún tiempo nos estamos volviendo cada vez más parecidos en nuestro ADN. Durante muchos milenios ocurrió lo contrario. La humanidad colonizó el planeta, creció el número de divisiones y de diferenciaciones entre las poblaciones, así como las diferencias genéticas. Sin embargo, en los últimos milenios están juntándose cada vez con más frecuencia las ramificaciones del árbol genealógico

humano. Esto se debe al importante incremento de la movilidad. En la actualidad apenas existe una aldea en la Tierra en la que no hayan puesto sus pies los seres humanos y hayan generado descendientes con las personas establecidas en ella. Las diferencias genéticas entre los seres humanos de Europa y de Asia occidental se han reducido en más de la mitad en el transcurso de los últimos diez mil años, y a escala planetaria se están volviendo también cada vez más pequeñas. Esta tendencia persistirá debido al previsible incremento de la movilidad.

Esta no es ninguna buena noticia para todos aquellos que pretenden clasificar según criterios genéticos a personas de naciones concretas. A medida que el ADN de los seres humanos continúe aumentando su convergencia en todo el planeta, serán cada vez más difíciles de sostener los constructos teóricos de «pueblo» y de «raza»; será mucho más complicado de lo que ya era de por sí antes. Puede que sea este precisamente el motivo por el cual sus partidarios los defienden cada vez con mayor agresividad; conceptos que hace tiempo habían desaparecido del debate público están resucitando como muertos vivientes. Proclamas combativas de la época nacionalsocialista, como «etnomorfosis» o «sobreextranjerización», están ganando terreno y se basan en la idea de que toda migración transforma el ADN de una población y, al mismo tiempo, su cultura. En esos términos resuena la teoría «cultura-idioma-nación» de comienzos del siglo XX, según la cual, la cultura y la sociedad se guían sobre todo por las similitudes entre los seres humanos. El papel de la propia cultura es exagerado y degradado a la vez por los partidarios de este punto de vista. Le atribuyen un valor sobresaliente, pero no creen en la fascinación que provoca en las personas foráneas. Esta actitud ignora por completo el poder de integración que ejercen las sociedades de éxito sobre los inmigrantes. Ofrecen una prueba de ello los Estados Unidos de América, muchos países europeos y, por supuesto, Alemania, donde hoy casi uno de cada cuatro habitantes presenta un trasfondo migratorio reciente sin haber puesto la República patas arriba. Muchos de los que pretenden proteger en la actualidad a la sociedad alemana (o, en ocasiones, a la sociedad occidental) de su transformación, provocada, por ejemplo, por la inmigración, intentan aislar de la emigración a un modelo de éxito, pretendidamente estático, que sin la movilidad de las últimas décadas no habría sido posible.

La exigencia de aislamiento nacional se ha reactivado en estos últimos años, y esto de una manera completamente independiente o incluso en proporción inversa a la presión migratoria real o al porcentaje de extranjeros

en la población. Los partidos nacionalistas y populistas de derechas tienen cada vez una mayor representación en los gobiernos y en el Parlamento Europeo forman un grupo propio. La mayoría de las veces solo coinciden en su rechazo a la migración y en la difusa declaración en favor de una «Europa de las naciones», a la que asignan el papel de establecer un «etnopluralismo» con unos límites muy claros. La mayoría de las veces no se rechaza solo la migración hacia Europa, sino la idea de la movilidad en sí, y es que el constructo teórico de una nación delimitada solo funciona si cada nación acepta esas fronteras. Es en este sentido como hay que entender la aversión hacia las personas excesivamente cosmopolitas, a quienes se asigna una falta de lealtad patriótica. Así, en el año 2018, el presidente de un grupo parlamentario con representación en el Bundestag atribuyó falsamente a la «clase globalizada» el control de las informaciones y, por consiguiente, el control de la batuta «cultural y política». Probablemente estableció sin querer incluso una relación genética cuando designó a la clase móvil de «los trabajadores de la información digital» como una «especie humana» propia.

Cuando el asunto va de rechazo de la movilidad humana y del internacionalismo, se ponen de manifiesto los matices antisemitas. Ya Hannah Arendt vio ahí, entre otras, una causa del odio implacable de los nacionalsocialistas hacia los judíos. Estos últimos, según la filósofa alemana, aparecían a ojos de los nazis como la realización de una red supranacional que estaba entretejida sobre una genética común y sobre el estatus de «pueblo elegido» y que ejercía su poder en cada país concreto sin albergar nada similar a un sentimiento de hogar, de patria.

La idea de «los genes judíos» ha quedado refutada ya desde hace mucho tiempo, pero sigue estando ampliamente difundida. En estos términos se expresaba Thilo Sarrazin en el año 2010 en una entrevista a un periódico: «Todos los judíos comparten un gen determinado». Sarrazin no había entendido algo básico. Muchísimos judíos asquenazíes (esto es, los miembros de comunidades religiosas cuyos antepasados vivieron durante siglos en la Europa central y oriental) tienen en efecto componentes genéticos similares que pueden atribuirse a su procedencia de Oriente Próximo y a la mezcla genética con europeos del centro y del este de Europa. Las estrictas tradiciones matrimoniales contribuyeron a que las personas judías engendraran hijos sobre todo con personas de su misma fe y conservaran así una marca genética que se distinguía de la población no judía. Pero de ello no resulta ningún gen individual que compartan todos los judíos asquenazíes, sino que se trata de una mezcla especial de genes que se presenta en ellos con

más frecuencia y cuyos componentes por separado proceden de Europa oriental y de Oriente Próximo; sin embargo, el componente del ADN de la Europa oriental de muchos asquenazíes lo encontramos, por ejemplo, también en los genomas de turingios, sajones o brandemburgueses. Es exactamente igual de desacertada la afirmación formulada en su momento por Sarrazin de que no solo los judíos, sino también los vascos, comparten un determinado gen.

LA LIMITADA POTENCIA DE LOS «GENES DE LA INTELIGENCIA»

Mientras que ningún científico serio afirmaría hoy que las fronteras nacionales, religiosas o culturales pueden comprenderse por la genética, domina una menor unidad en otras cuestiones. Una de ellas gira en torno a si entre las distintas regiones del mundo existen diferencias de inteligencia condicionadas por la genética. Así, por ejemplo, hace algunos años causó sensación la declaración oficial de un genetista que suponía esto en concreto; procedía del codescubridor de la estructura del ADN, James Watson. En el año 2007, este premio nobel dijo en una entrevista que los africanos eran menos inteligentes que los europeos y que todas las pruebas realizadas hasta el momento no habían mostrado «realmente» lo contrario. Siguió diciendo que él no podía remitirse a diferencias genéticas demostradas, pero parecía convencido de que estas serían halladas durante los próximos años. Tras el escándalo que desencadenaron las declaraciones de Watson en esa entrevista, este afirmó que se le había malinterpretado, que solo había querido poner de manifiesto que existían diferencias genéticas entre las poblaciones y que pronto se encontrarían componentes en unas concretas —según sus suposiciones, quizá no en una población de piel oscura— que serían la causa de una inteligencia más elevada.

El pronóstico de Watson no se ha cumplido hasta el momento y probablemente no lo hará nunca. Es cierto que en los últimos años se han identificado minúsculos componentes de genomas cuya aparición coincide con una inteligencia más elevada, pero esos componentes genéticos, en primer lugar, solo explican una parte de las diferencias en la inteligencia. Además, no se encontraron centros geográficos porque esas variantes genéticas que fomentan una inteligencia más elevada aparecen redistribuidas en todo el mundo y, por supuesto, también en África. Esto no excluye la posibilidad de que en algún momento se halle un segmento genético que haga más inteligente a un número superior a la media de personas de determinadas

regiones u orígenes. Sin embargo, esto resulta bastante improbable. Mientras tanto se han investigado millones de genomas y se han practicado innumerables test de inteligencia. Si existiera, ya se habría reconocido hace mucho tiempo esa inteligencia más elevada en determinados grupos y condicionada por la genética.

En general no deberíamos sobrestimar las disposiciones genéticas. Esto nos lo muestran los conocimientos adquiridos durante los últimos años sobre las influencias genéticas en la estatura corporal. Se identificaron alrededor de cien segmentos genéticos que influyen en el tamaño del cuerpo, incluidas las diferentes distribuciones por regiones. Sin embargo, son mucho más importantes las condiciones ambientales. El hecho de que los seres humanos actuales en extensos territorios del planeta sean una cabeza más alta que sus abuelos se debe únicamente a una situación nutricional considerablemente mejorada. A nadie se le ocurriría atribuir a un desplazamiento genético la diferencia de estatura acaecida en el intervalo de tres generaciones. Y, del mismo modo, tampoco los seres humanos actuales tienen más «genes de la inteligencia» solo porque en promedio obtendrían una puntuación superior en un test de inteligencia del año 1950. Lo que ha sucedido más bien es que han mejorado las condiciones para la inteligencia gracias, por ejemplo, a un mayor porcentaje de obtención de títulos escolares.

Quede dicho que las secciones de genes que promueven la inteligencia no son irrelevantes para el desarrollo de la personalidad. Una persona con condiciones previas desfavorables al respecto, probablemente lo tendrá más complicado que otras para obtener un buen título escolar o universitario, a no ser que esa desventaja inicial sea equilibrada por otros factores, a la cabeza de los cuales se encuentra el estatus social. Los factores culturales y otros factores externos son mucho más importantes que los genéticos, pues, de lo contrario, en los estudios sobre educación no habría quedado probada decenas de veces la relación existente entre los ingresos familiares y el éxito en la educación.

En general resulta problemático deducir unos «genes de la inteligencia» a partir de la comparación entre las características genéticas y los resultados de los test de inteligencia. La inteligencia viene determinada por estos, lo cual significa que los procedimientos comunes reflejan sobre todo lo que es considerado importante en las respectivas sociedades. Una correlación de elevados coeficientes intelectuales con determinados componentes genéticos en determinadas poblaciones solo demostraría de entrada que una población obtiene de media mejores resultados que otra. Si se tomara otro test como

baremo, un test a la medida de las exigencias de otras sociedades, aquella población podría obtener resultados mucho peores, y otra en cambio mejores. A una saltadora de altura puede hacérsele competir al esprint contra una corredora de la prueba de los cien metros. A partir de esa prueba resulta difícil juzgar quién de las dos es mejor deportista.

Los conocimientos adquiridos acerca de la influencia genética de la inteligencia refutan sin duda las hipótesis sobre los desniveles regionales o incluso nacionales, pero no convierten en superfluos los debates éticos, todo lo contrario. Si la investigación genética de alto nivel ha podido identificar en un tiempo relativamente corto los segmentos de ADN que influyen en la inteligencia, es lógico pensar que la comprensión de esas disposiciones se ampliará y se profundizará considerablemente en los próximos años y en las décadas siguientes. Así, en la actualidad, ya es en parte legible en el ADN la manifestación de rasgos autistas y esquizofrénicos en la personalidad. Nadie puede calcular qué perfiles de la personalidad podrán elaborarse en los próximos años mediante el análisis del genoma. Ahora bien, ¿cómo manejar la situación si por unos pocos euros o dólares pueden proporcionarse con elevadas probabilidades no solo los riesgos médicos, sino también los rasgos del carácter? La humanidad se enfrenta a la difícil tarea de responder a estas y a otras complejas cuestiones éticas, mientras fluyen ingentes cantidades de dinero hacia la investigación genética, con lo que posiblemente se crearán pronto hechos consumados. Así, por ejemplo, en el año 2012 se fundó la China National GeneBank, que no solo pretende descifrar el plano de construcción del ser humano, sino también el de toda la biosfera. Y un accionista importante del mayor proveedor privado de análisis del genoma, la empresa californiana 23andme, es el consorcio de datos Google.

LAS TENTACIONES DE DISEÑAR AL SER HUMANO

La evolución de la investigación genética se asemeja a la de un avión supersónico, cuyas magníficas promesas nos fascinan, mientras que solo podemos presentir qué riesgos podrían acecharnos en esa tecnología. Estamos a punto de romper la barrera del sonido, pero no sabemos qué tipo de estallido vamos a escuchar. Sin embargo, hay buenas razones para ser optimistas. A nuestras espaldas tenemos una fantástica historia evolutiva desde que, gracias a una combinación de afortunadas circunstancias, formamos un cerebro increíblemente eficiente. En el baremo evolutivo no ha transcurrido ni un pestañeo desde que el ser humano desarrolló la agricultura y se volvió

sedentario. Desde entonces hemos organizado el mundo conforme a nuestros deseos, hemos sometido a la naturaleza, hemos comprendido las leyes naturales y también el minúsculo papel de los seres humanos en esta gran obra teatral. En la actualidad nos hallamos en el umbral hacia una de las más grandes, quizá la mayor de las revoluciones en la historia de la humanidad.

El desciframiento de nuestro genoma es tan solo el comienzo de un camino, al final del cual el ser humano sería el primer ser vivo de este planeta en poder manejar su propia evolución. No fue hasta el año 2015 cuando se desarrolló el denominado «método CRISPR/Cas»[24]. En la actualidad, esta «tijera genética» es ya un procedimiento estándar en la tecnología genética; con él pueden transformarse con precisión los genomas de los seres vivos. Las posibilidades de esta tecnología son palmarias, sobre todo en el ámbito médico. Las predisposiciones genéticas para el cáncer y otras enfermedades podrían ser reparadas y cortadas con la tijera genética una vez identificadas. En un futuro próximo, algunas cepas de bacterias y de virus quedarán transformadas genéticamente de tal manera que se impongan a otras cepas para que no ocasionen ningún daño en el ser humano. La gente podría estar inmunizada contra enfermedades peligrosas. En el mejor de los casos, la tijera genética y otros procedimientos de ingeniería genética son incluso las respuestas a la amenazante catástrofe de la resistencia a los antibióticos.

Las opciones médicas son numerosas, pero incluyen muchas incógnitas. Nadie puede descartar con seguridad hoy en día si, al acabar con una enfermedad mediante transformaciones genéticas, no se dará la posibilidad al nacimiento de otra. De ahí que se esté muy lejos todavía de emplear regularmente la tijera genética como medio terapéutico; sin embargo, ya están en marcha los primeros ensayos en células madre humanas. A finales del año 2018, el científico chino He Jiankui anunció el nacimiento de los primeros bebés humanos editados genéticamente. Según su propia declaración, había desconectado el receptor CCR-5 en las gemelas Lulu y Nana antes de su estadio embrional para proteger a las niñas ante una infección por el virus de la inmunodeficiencia humana. La intervención es relativamente simple porque el gen *CCR-5* ha sido muy investigado. Al mismo tiempo había pocos motivos para hacerlo, ya que el VIH aparece con una frecuencia muy relativa en China y este virus se puede contener muy bien con medicamentos, mientras que no existe ninguna terapia contra el virus del Nilo occidental, que puede verse favorecido por un receptor CCR-5 mutado; la fiebre resultante puede acabar en la muerte del paciente. Hay muchos indicios que hablan en favor de que, en el caso de las gemelas Lulu y Nana, se trataba menos de una

prevención efectiva contra el VIH, tal como anunció He Jiankui, que de sacar cuanto antes a la luz un trabajo científico pionero.

Actualmente, nadie tiene la capacidad de evaluar con seriedad si esa intervención tendrá algún efecto no deseado en las gemelas. El potencial médico del método CRISPR/Cas es gigantesco, eso es indiscutible, pero esa precipitación sin una valoración suficiente de los riesgos le ha hecho un flaco servicio. De todos modos, las reacciones tanto a nivel internacional como en la propia China demostraron que una mayoría aplastante de la comunidad científica está muy dispuesta a participar en los debates éticos y a actuar conforme a las decisiones resultantes. Tal vez Lulu y Nana despierten al mundo del letargo de la bella durmiente y abran un debate que debería haberse producido hace ya muchísimo tiempo.

Los lados oscuros de las nuevas tecnologías son, sin embargo, evidentes. Si cada vez se identifican más factores genéticos responsables, no de enfermedades, sino de rasgos como la inteligencia, la estatura o incluso aspectos acentuados de la personalidad, podríamos estar acercándonos, paso a paso, por medio de la tijera genética, al famoso «bebé de diseño». Ya hoy, después de realizarse un diagnóstico genético, se practica el aborto de no nacidos con un riesgo de síndrome de trisomía 21. El procedimiento de la tijera genética podría parecer en este caso incluso preferible desde un punto de vista ético; después de todo, no se trata de poner fin a la vida de un no nacido, sino de no dejar siquiera que se origine. Es comprensible el deseo de padres y madres de tener una criatura sana, y este deseo podría hacerse realidad gracias al método CRISPR/Cas. Ahora bien, ¿no son igualmente deseables para padres y madres aquellos genes que ofrecen la posibilidad de una inteligencia más elevada para su retoño? ¿O aquellos que proporcionan un aspecto «adecuado» entre la mayoría de los congéneres en la sociedad como, por ejemplo, una piel más clara o unos ojos azules? La transición de una sociedad sana a una sociedad moldeada puede ser difusa. En la mayoría de los países occidentales, tales escenarios se enfrentan a numerosas barrera éticas y, sobre todo, jurídicas, o al menos esto es lo que ha estado ocurriendo hasta ahora. Encontrar la forma de manejar las oportunidades y los riesgos no valorados hasta la fecha acerca del autoempoderamiento genético del ser humano seguramente será una de las mayores tareas a la que deberemos enfrentarnos en los próximos años y décadas.

No será ninguna tarea cómoda, desde luego. Al fin y al cabo no puede tratarse solo de andar prohibiendo nuevos procedimientos, sobre todo teniendo en cuenta que semejante prohibición sería difícilmente aplicable,

como nos enseña el ejemplo de las gemelas chinas. Sin embargo, también debe buscarse un fundamento a esa omisión en quienes el procedimiento de la tijera genética podría salvar la vida o aliviar las condiciones de esta. Puede que proteger o no de la malaria a las personas con procedimientos de ingeniería genética sea un debate ético en la mayoría de los países occidentales, pero en muchos países africanos se trata de un debate sobre la propia supervivencia.

SIN LÍMITES NI FRONTERAS

Parece como si, a partir del viaje de nuestros genes, el ser humano se hubiera convertido en su propio guía. El ritmo acelerado que el grupo ha adoptado durante el viaje ejemplifica la evolución en estos últimos cien años. En ese tiempo se ha cuadriplicado la población mundial, pasando de ni siquiera dos mil millones a los actuales siete mil quinientos millones de seres humanos; desde 1970, ha crecido en la misma cantidad que en, aproximadamente, los dos millones de años anteriores. Si bien la cantidad numérica no puede ser la única medida, se muestra de una manera impresionante en ella la capacidad de nuestra especie para imponerse desde un punto de vista evolutivo. Al mismo tiempo, ese éxito es la fuente de casi la totalidad de desafíos vitales con los que tenemos que vérnoslas en la actualidad. Más personas consumen más recursos, el aumento de la emisión de gases de efecto invernadero intensifica el cambio climático. Cada vez más regiones del planeta podrían volverse inhabitables y, además, se trata casi exclusivamente de aquellas en las que ya hoy habita un número desmesurado de seres humanos que están compitiendo por unas oportunidades de crecimiento desproporcionadamente escasas. Un vistazo a las noticias nos deja claro que no pueden subestimarse los peligros resultantes. A pesar de todo, por difícil que a veces resulte creerlo, a la humanidad le sigue soplando el viento en popa, en casi todos los ámbitos nos va mejor de año en año. A lo largo y ancho del mundo está aumentando la prosperidad, en la población mundial está disminuyendo el porcentaje de personas que pasan hambre o que sufren enfermedades letales, está descendiendo la mortalidad materna e infantil, por mencionar tan solo algunos indicadores generales.

El progreso va a continuar, pues de ello se encarga, y no en última instancia, el impulso que se halla en la naturaleza humana hacia la movilidad y el establecimiento de redes. Con su expansión por todo el mundo, colocó la primera piedra para la sociedad global que en estos últimos mil años ha

adoptado una forma cada vez más nítida y que se ha desarrollado en el pasado más reciente a una velocidad vertiginosa. Casi una de cada dos personas en el mundo emplea en la actualidad internet, la cantidad almacenada de datos se incrementa a un ritmo acelerado, al igual que el conocimiento accesible desde cualquier teléfono inteligente. La digitalización penetrará prácticamente en todos los ámbitos sociales durante los próximos años. También las grandes esperanzas que la medicina tiene puestas en la genética están basadas en la digitalización y en un procesamiento cada vez más rápido de cantidades de datos en aumento. Entre estos datos se encuentra asimismo el genoma del ser humano, con sus miles de millones de pares de bases, de los cuales iremos descifrando cada vez más secretos, siempre con el objetivo de llegar al fondo de nosotros mismos y de nuestra naturaleza.

El mundo del futuro será un mundo de conexión por redes, un mundo de la sociedad global. La humanidad prosigue el camino que tomó desde sus comienzos. Sigue abierta la pregunta sobre dónde acabará ese camino. Lo único que parece claro es que el dogma del aislamiento terminará en un callejón sin salida. Nunca existió un mundo así. El viaje de la humanidad proseguirá. Nos toparemos con límites y fronteras. Y no aceptaremos ni esos límites ni esas fronteras.

No estamos hechos para ello.

Bibliografía

Con el objetivo de ofrecer una lectura fluida hemos renunciado a citar en el libro las referencias bibliográficas mediante notas a pie de página. A continuación figura una lista de las publicaciones, libros y otras fuentes consultadas para cada capítulo. Algunos datos incluidos en el libro se basan en conversaciones con científicos y científicas, cuyas evaluaciones e interpretaciones, si fueron compartidas por los autores, se incorporaron al texto. Hemos renunciado a las referencias múltiples.

1. UN TRABAJO MUY HUESUDO

1. K. Mullis, *et al*., «Specific enzymatic amplification of DNA in vitro. The polymerase chain reaction», *Cold Spring Harb Symp Quant Biol*, 51 (1) (1986), pp. 263-273.
2. J. C. Venter, *et al*., «The sequence of the human genome», *Science*, 291 (5507) (2001), pp. 1304-1351.
3. International Human Genome Sequencing Consortium, «Finishing the euchromatic sequence of the human genome», *Nature*, 431 (7011) (2004), pp. 931-945.
4. D. Reich, *Who we are and how we got here. Ancient DNA revolution and the new science of the human past*, 1.ª ed., Nueva York, Pantheon Books, 2018, p. XXV; 335 pp.
5. S. Pääbo, «Über den Nachweis von DNA in altägyptischen Mumien», *Das Altertum*, 30 (1984), pp. 213-218.
6. S. Pääbo, *Neanderthal man. In search of lost genomes*, Nueva York, Basic Books, Perseus Books Group, 2014, p. IX; 275 pp.
7. J. Krause, *et al*., «The complete mitochondrial DNA genome of an unknown hominin from southern Siberia», *Nature*, 464 (7290) (2010), pp. 894-897.
8. T. R. Gregory, *The evolution of the genome*, Burlington (Massachusetts), Elsevier Academic, 2005, p. XXVI; 740 pp.
9. B. Nystedt, *et al*., «The Norway spruce genome sequence and conifer genome evolution», *Nature*, 497 (7451) (2013), pp. 579-584.
10. E. R. Consortium, «An integrated encyclopedia of DNA elements in the human genome», *Nature*, 489 (7414) (2012), pp. 57-74.

11. M. Kimura, «Evolutionary rate at the molecular level», *Nature*, 217 (5129) (1968), pp. 624-626.
12. C. Posth, *et al*., «Deeply divergent archaic mitochondrial genome provides lower time boundary for African gene flow into Neanderthals», *Nat Commun*, 8 (2017), p. 16046.
13. M. Kuhlwilm, *et al*., «Ancient gene flow from early modern humans into Eastern Neanderthals», *Nature*, 530 (7591) (2016), pp. 429-433.
14. M. Meyer, *et al*., «Nuclear DNA sequences from the Middle Pleistocene Sima de los Huesos hominins», *Nature*, 531 (7595) (2016), pp. 504-507.
15. D. Reich, *et al*., «Genetic history of an archaic hominin group from Denisova Cave in Siberia», *Nature*, 468 (7327) (2010), pp. 1053-1060.
16. M. Krings, *et al*., «Neandertal DNA sequences and the origin of modern humans», *Cell*, 90 (1) (1997), pp. 19-30.
17. J. Krause y S. Päabo, «Genetic Time Travel», *Genetics*, 203 (1) (2016), pp. 9-12.
18. J. Krause, *et al*., «A complete mtDNA genome of an early modern human from Kostenki, Russia», *Curr Biol*, 20 (3) (2010), pp. 231-236.
19. I. Lazaridis, *et al*., «Ancient human genomes suggest three ancestral populations for present-day Europeans», *Nature*, 513 (7518) (2014), pp. 409-413.
20. W. Haak, *et al*., «Massive migration from the steppe was a source for Indo-European languages in Europe», *Nature*, 522 (7555) (2015), pp. 207-211.
21. A. Andrades Valtuena, *et al*., «The Stone Age Plague and Its Persistence in Eurasia», *Curr Biol*, 27 (23) (2017), pp. 3683-3691 e8.
22. F. M. Key, *et al*., «Mining Metagenomic Data Sets for Andent DNA. Recommended Protocols for Authentication», *Trends Genet*, 33 (8) (2017), pp. 508-520.
23. S. Rasmussen, *et al*., «Early divergent strains of *Yersinia pestis* in Eurasia 5,000 years ago», *Cell*, 163 (3) (2015), pp. 571-582.

2. Los inmigrantes obstinados

1. R. E. Green, *et al*., «A draft sequence of the Neandertal genome», *Science*, 328 (5979) (2010), pp. 710-722.
2. M. Kuhlwilm, *et al*., «Ancient gene flow from early modern humans into Eastern Neanderthals», *Nature*, 530 (7591) (2016), pp. 429-433.
3. M. Meyer, *et al*., «Nuclear DNA sequences from the Middle Pleistocene Sima de los Huesos hominins», *Nature*, 531 (7595) (2016), pp. 504-507.

4. C. Posth, *et al*., «Deeply divergent archaic mitochondrial genome provides lower time boundary for African gene flow into Neanderthals», *Nat Commun*, 8 (2017), p. 16046.
5. K. Prüfer, *et al*., «The complete genome sequence of a Neanderthal from the Altai Mountains», *Nature*, 505 (7481) (2014), pp. 43-49.
6. C. Stringer y P. Andrews, *The complete world of human evolution*, ed. rev., Londres, Nueva York, Thames & Hudson, 2011; 240 pp.
7. M. Meyer, *et al*., «A high-coverage genome sequence from an archaic Denisovan individual», *Science*, 338 (6104) (2012), pp. 222-226.
8. P. Faupl, W. Richter y C. Urbanek, «Geochronology. Dating of the Herto hominin fossils», *Nature*, 426 (6967) (2003), pp. 621-622; debate en la p. 622.
9. J. Krause, *et al*., «Neanderthals in central Asia and Siberia», *Nature*, 449 (7164) (2007), pp. 902-904.
10. W. Enard, *et al*., «Intra- and interspecific variation in primate gene expression patterns», *Science*, 296 (5566) (2002), pp. 340-343.
11. J. Krause, *et al*., «The derived *$FOXP_2$* variant of modern humans was shared with Neandertals», *Curr Biol*, 17 (21) (2007), pp. 1908-1912.
12. K. de Queiroz, «Species concepts and species delimitation», *Syst Biol*, 56 (6) (2007), pp. 879-886.
13. M. Dannemann, K. Prüfer y J. Kelso, «Functional implications of Neandertal introgression in modern humans», *Genome Biol*, 18 (1) (2017), p. 61.
14. Q. Fu, *et al*., «Genome sequence of a 45,000-year-old modern human from western Siberia», *Nature*, 514 (7523) (2014), pp. 445-449.
15. Q. Fu, *et al*., «An early modern human from Romania with a recent Neanderthal ancestor», *Nature*, 524 (7564) (2015), pp. 216-219.
16. Q. Fu, *et al*., «The genetic history of Ice Age Europe», *Nature*, 534 (7606) (2016), pp. 200-205.
17. N. C. K.-J. Kind, *Als der Mensch die Kunst erfand. Eiszeithöhlen der Schwäbischen Alb*, Stuttgart, Konrad Theiss, 2017.
18. N. J. Conard, «A female figurine from the basal Aurignacian of Hohle Fels Cave in southwestern Germany», *Nature*, 459 (7244) (2009), pp. 248-252.
19. N. J. Conard, M. Malina y S. C. Munzel, «New flutes document the earliest musical tradition in southwestern Germany», *Nature*, 460 (7256) (2009), pp. 737-740.
20. D. Lieberman, *The story of the human body. Evolution, health, and disease*, 1.ª ed., Nueva York, Pantheon Books, 2013, p. XII; 460 pp.
21. F. E. Grine, J. G. Fleagle y R. E. Leakey, *The first humans. Origin and early evolution of the genus Homo. Contributions from the third Stony Brook Human Evolution Symposium and Workshop, October 3-*

October 7, 2006, Vertebrate paleobiology and paleoanthropology series, Dordrecht, Springer, 2009, p. XI; 218 pp.
22. B. Giaccio, *et al*., «High-precision (14)C and (40)Ar/(39)Ar dating of the Campanian Ignimbrite (Y-5) reconciles the time-scales of climatic-cultural processes at 40 ka», *Sci Rep*, 7 (2017), p. 45940.
23. A. Marti, *et al*., «Reconstructing the plinian and co-ignimbrite sources of large volcanic eruptions. A novel approach for the Campanian Ignimbrite», *Sci Rep*, 6 (2016), p. 21220.
24. A. Marom, *et al*., «Single amino acid radiocarbon dating of Upper Paleolithic modern humans», *Proc Natl Acad Sci USA*, 109 (18) (2012), pp. 6878-6881.
25. J. Krause, *et al*., «A complete mtDNA genome of an early modern human from Kostenki, Russia», *Curr Biol*, 20 (3) (2010), pp. 231-236.
26. J. A. Fellows Yates, *et al*., «Central European Woolly Mammoth Population Dynamics. Insights from Late Pleistocene Mitochondrial Genomes», *Sci Rep*, 7 (1) (2017), p. 17714.
27. A. Mittnik, *et al*., «A Molecular Approach to the Sexing of the Triple Burial at the Upper Paleolithic Site of Dolni Vestonice», *PLoS One*, 11 (10) (2016), p. e0163019.
28. R. Forni, *et al*., «Long-term magmatic evolution reveals the beginning of a new caldera cycle at Campi Flegrei», *Science Advances*, 4 (11) (2018), eaat9401.

3. LOS INMIGRANTES SON EL FUTURO

1. B. Odar, «A Dufour bladelet from Potocka zijalka (Slovenia)» ,*Arheoloski vestnik*, 59 (2008), pp. 9-16.
2. C. Posth, *et al*., «Pleistocene Mitochondrial Genomes Suggest a Single Major Dispersal of Non-Africans and a Late Glacial Population Turnover in Europe», *Curr Biol*, 26 (2016), pp. 1-7.
3. M. Tallavaara, *et al*., «Human population dynamics in Europe over the Last Glacial Maximum», *Proc Natl Acad Sci USA*, 112 (27) (2015), pp. 8232-8237.
4. R. B. Alley, «The Younger Dry as cold interval as viewed from central Greenland», *Quaternary Science Reviews*, 19 (1) (2000), pp. 213-226.
5. W. S. Broecker, «Geology. Was the Younger Dryas triggered by a flood?», *Science*, 312 (5777) (2006), pp. 1146-1148.
6. K. M. Walter, *et al*., «Methane bubbling from Siberian thaw lakes as a positive feedback to climate warming», *Nature*, 443 (7107) (2006), pp. 71-75.

7. S. A. Zimov, E. A. Schuur y F. S. Chapin, 3.ª ed., «Climate change. Permafrost and the global carbon budget», *Science*, 312 (5780) (2006), pp. 1612-1613.
8. J. M. Grünberg, *et al*., «Mesolithic burials - Rites, symbols and social organisation of early postglacial communities», Tagungen des Landesmuseums für Vorgeschichte Halle, 269 (Saale), Alemania, 13 (2013), International Conference Halle.
9. M. A. Mannino, *et al*., «Climate-driven environmental changes around 8,200 years ago favoured increases in cetacean strandings and Mediterranean hunter-gatherers exploited them», *Sci Rep*, 5 (2015), p. 16288.
10. L. R. Botigue, *et al*., «Ancient European dog genomes reveal continuity since the Early Neolithic», *Nat Commun*, 8 (2017), p. 16082.
11. O. Thalmann, *et al*., «Complete mitochondrial genomes of ancient canids suggest a European origin of domestic dogs», *Science*, 342 (6160) (2013), pp. 871-874.
12. M. Arendt, *et al*., «Diet adaptation in dog reflects spread of prehistoric agriculture», *Heredity* (Edimburgo), 117 (5) (2016), pp. 301-306.
13. M. Mäscher, *et al*., «Genomic analysis of 6,000-year-old cultivated grain illuminates the domestication history of barley», *Nat Genet*, 48 (9) (2016), pp. 1089-1093.
14. S. Riehl, M. Zeidi y N. J. Conard, «Emergence of agriculture in the foothills of the Zagros Mountains of Iran», *Science*, 341 (6141) (2013), pp. 65-67.
15. G. Larson, «The Evolution of Animal Domestication», *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 45 (2014), pp. 115-136.
16. C. Gamba, *et al*., «Genome flux and stasis in a five millennium transect of European prehistory», *Nat Commun*, 5 (2014), p. 5257.
17. M. Feldman, *et al*., «Late Pleistocene human genome suggests a local origin for the first farmers of central Anatolia», *bioRxiv*, 422295 (2018).
18. I. Lazaridis, *et al*., «Genomic insights into the origin of farming in the ancient Near East», *Nature*, 536 (7617) (2016), pp. 419-424.
19. I. Lazaridis, *et al*., «Ancient human genomes suggest three ancestral populations for present-day Europeans», *Nature*, 513 (7518) (2014), pp. 409-413.
20. I. Mathieson, *et al*., «Genome-wide patterns of selection in 230 ancient Eurasians», *Nature*, 528 (7583) (2015), pp. 499-503.
21. N. G. Jablonski y G. Chaplin, «Colloquium paper. Human skin pigmentation as an adaptation to UV radiation», *Proc Natl Acad Sci USA*, 107, supl. 2 (2010), pp. 8962-8968.

22. B. Gamarra, *et al*., «5000 years of dietary variations of prehistoric farmers in the Great Hungarian Plain», *PLoS One*, 13 (5) (2018), p. e0197214.
23. E. B. Liem, *et al*., «Increased sensitivity to thermal pain and reduced subcutaneous lidocaine efficacy in redheads», *Anesthesiology*, 102 (3) (2005), pp. 509-514.
24. C. Ryan, *et al*., *Sex at Dawn. The Prehistoric Origins of Modern Sexuality*, Nueva York, Harper, 2010.
25. T. Uthmeier, *Bestens angepasst - Jungpaläolithische Jäger und Sammler in Europa*, en *Klimagewalten. Treibende Kraft der Evolution*, Stuttgart, Konrad Theiss, 2017.
26. W. Behringer, «Das wechselhafte Klima der letzten 1000 Jahre», en *ibid*.
27. A. Müller, «Was passiert, wenn es kälter oder wärmer wird?», en *ibid*.
28. E. Hallgren, *et al*., *Skulls on stakes and in water. Mesolithic mortuary rituals at Kanaljorden, Mótala, Sweden 7000 BP*, en *Mesolithische Bestattungen - Riten, Symbole und soziale Organisation früher postglazialer Gemeinschaften*, Landesamt für Denkmalpflege und Archäologie Sachsen-Anhalt, 2013.

4. Sociedades paralelas

1. R. Bollongino, *et al*., «2000 years of parallel societies in Stone Age Central Europe», *Science*, 342 (6157) (2013), pp. 479-481.
2. V. Bajic, *et al*., «Genetic structure and sex-biased gene flow in the history of southern African populations», *Am J Phys Anthropol*, 167 (3) (2018), pp. 656-671.
3. A. Mummert, *et al*., «Stature and robusticity during the agricultural transition. Evidence from the bioarchaeological record», *Econ Hum Biol*, 9 (3) (2011), pp. 284-301.
4. M. N. Cohen y G. J. Armelagos, *Paleopathology and the origins of agriculture*, Orlando (Florida), Academic Press, 1984.
5. D. Mischka, «Flintbek LA 3, biography of a monument», *Journal of Neolithic Archaeology* (2010).
6. G. Brandt, *et al*., «Ancient DNA reveals key stages in the formation of central European mitochondrial genetic diversity», *Science*, 342 (6155) (2013), pp. 257-261.
7. W. Haak, *et al*., «Massive migration from the steppe was a source for Indo-European languages in Europe», *Nature*, 522 (7555) (2015), pp. 207-211.

8. H. Meller (ed.) ,*Krieg - eine archäologische Spurensuche*, Stuttgart, Konrad Theiss, 2015.
9. H. Meller (ed.), *3300 BC. Mysteriöse Steinzeittote und ihre Welt*, Oppenheim, Nünnerich-Asmus, 2013.
10. A. Mittnik, *et al*., «The genetic prehistory of the Baltic Sea region», *Nat Commun*, 9 (1) (2018), p. 442.
11. M. A. Fugazzola Delpino y M. Mineo, «La piroga neolitica del lago di Bracciano, La Marmotta 1», *Bullettino di Paletnologia Italiana* (Roma), 86 (1995), pp. 197-266.
12. C. Greenblatt y M. Spigelman, *Emerging pathogens. Archaeology, ecology and evolution of infectious disease*, Oxford, Oxford University Press, 2003.

5. HOMBRES JÓVENES SOLTEROS

1. N. Patterson, *et al*., «Ancient admixture in human history», *Genetics*, 192 (3) (2012), pp. 1065-1093.
2. P. Skoglund y D. Reich, «A genomic view of the peopling of the Americas», *Curr Opin Genet Dev*, 41 (2016), pp. 27-35.
3. M. Raghavan, *et al*., «Upper Palaeolithic Siberian genome reveals dual ancestry of Native Americans», *Nature*, 505 (7481) (2014), pp. 87-91.
4. M. E. Allentoft, *et al*., «Population genomics of Bronze Age Eurasia», *Nature*, 522 (7555) (2015), pp. 167-172.
5. D. W. Anthony, *The Horse, the Wheel, and Language. How Bronze-Age Riders from the Eurasian Steppes Shaped the Modern World*, Princeton (New Jersey), Princeton University Press, 2007.
6. C. C. Wang, *et al*., «The genetic prehistory of the Greater Caucasus», *bioRxiv*, 322347 (2018).
7. I. Mathieson, *et al*., «The genomic history of southeastern Europe», *Nature*, 555 (7695) (2018), pp. 197-203.
8. A. Andrades Valtuena, *et al*., «The Stone Age Plague and Its Persistence in Eurasia», *Curr Biol*, 27 (23) (2017), pp. 3683-3691 e8.
9. L. Olalde, *et al*., «The Beaker phenomenon and the genomic transformation of northwest Europe», *Nature*, 555 (7695) (2018), pp. 190-196.
10. W. Adler, *Gustaf Kossinna, in Studien zum Kulturbegriff in der Vor- und Frühgeschichtsforschung*, Bonn, Rudolf Habelt, 1987, pp. 33-56.
11. V. Heyd, «Kossina's smile», *Antiquity*, 91 (356) (2017), pp. 348-359.
12. K. Kristiansen, *et al*., «Re-theorizing mobility and the formation of culture and language among the Corded Ware Cultures in Europe», *Antiquity*, 91 (2017), pp. 334-347.

13. L. Orlando, *et al*., «Recalibrating Equus evolution using the genome sequence of an early Middle Pleistocene horse», *Nature*, 499 (7456) (2013), pp. 74-78.
14. C. Gaunitz, *et al*., «Ancient genomes revisit the ancestry of domestic and Przewalski's horses», *Science*, 360 (6384) (2018), pp. 111-114.
15. A. Goldberg, *et al*., «Ancient X chromosomes reveal contrasting sex bias in Neolithic and Bronze Age Eurasian migrations», *Proc Natl Acad Sci USA*, 114 (10) (2017), pp. 2657-2662.
16. H. Meller A. Muhl y K. Heckenhahn, *Tatort Eulau. Ein 4500 Jahre altes Verbrechen wird aufgeklärt*, Stuttgart, Konrad Theiss, 2010.
17. H. Meller y K. Michel, *Die Himmelsscheibe von Nebra. Der Schlüssel zu einer untergegangenen Kultur im Herzen Europas*, Berlín, Propyläen Verlag, 2018. [Hay trad. cast.: *El disco celeste de Nebra. La clave de una civilización extinta en el corazón de Europa*, Barcelona, Antoni Bosch Editor, 2020, trad. de Jorge Seca.]
18. L. Segurel y C. Bon, «On the Evolution of Pactase Persistence in Humans», *Annu Rev Genomics Hum Genet*, 18 (2017), pp. 297-319.

6. Los europeos encuentran una lengua

1. M. Haspelmath, M. S. Dryer y D. Gil, *The World Atlas of Language Structures*, Oxford, Oxford Linguistics, 2005.
2. R. D. Gray, Q. D. Atkinson y S. J. Greenhill, «Language evolution and human history. What a difference a date makes», *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci*, 366 (1567) (2011), pp. 1090-1100.
3. C. Renfrew, *Archaeology and Language. The Puzzle of Indo-European Origins*, Cambridge, Cambridge University Press, 1987.
4. R. D. Gray y Q. D. Atkinson, «Language-tree divergence times support the Anatolian theory of Indo-European origin», *Nature*, 426 (6965) (2003), pp. 435-439.
5. M. Gimbutas, «Culture Change in Europe at the Start of the Second Millennium B. C. A Contribution to the Indo-European Problem», Fifth International Congress of Anthropological and Ethnological Sciences, Filadelfia, 1956.
6. L. Kontier, *Millennium in Central Europe. A History of Hungary*, Budapest, Atlantisz Publishing House, 1999.
7. V. Narasimhan, *et al*., «The Genomic Formation of South and Central Asia», *bioRxiv*, 292581 (2018).
8. C. C. Wang, *et al*., «The genetic prehistory of the Greater Caucasus», *bioRxiv*, 322347 (2018).

9. E. R. Jones, *et al*., «Upper Palaeolithic genomes reveal deep roots of modern Eurasians», *Nat Commun*, 6 (2015), p. 8912.

7. Estructuras patriarcales

1. H. Fokkens y A. Harding, *The Oxford Handbook of the European Bronze Age*, Oxford, Oxford University Press, 2013.
2. D. W. Anthony, *The Horse, the Wheel, and Language. How Bronze-Age Riders from the Eurasian Steppes Shaped the Modern World*, Princeton (New Jersey), Princeton University Press, 2007.
3. R. Risch, «Ein Klimasturz als Ursache für den Zerfall der alten Welt», *7. Mitteldeutscher Archäologentag* (2014), Halle (Saale), Alemania, Landesamt für Denkmalpflege und Archäologie Sachsen-Anhalt.
4. C. Knipper, *et al*., «A distinct section of the Early Bronze Age society f Stable isotope investigations of burials in settlement pits and multiple inhumations of the Unetice culture in central Germany», *Am J Phys Anthropol*, 159 (3) (2016), pp. 496-516.
5. C. Knipper, *et al*., «Female exogamy and gene pool diversification at the transition from the Final Neolithic to the Early Bronze Age in central Europe», *Proc Natl Acad Sci USA*, 114 (38) (2017), pp. 10083-10088.
6. A. Mittnik, *et al*., «Kinship-based social inequality in Bronze Age Europe», *Science*, 366 (6466) (2019), pp. 731-734.
7. J. Maran y P. Stockhammer, *Appropriating Innovations. Entangled Knowledge in Eurasia, 5000-1500 BCE*, Oxford, Oxbow Books, 2017.
8. Z. Hofmanova, *et al*., «Early farmers from across Europe directly descended from Neolithic Aegeans», *Proc Natl Acad Sci USA*, 113 (25) (2016), pp. 6886-6891.
9. H. Meller, M. Schefzik y P. Ettel, *Krieg - eine archäologische Spurensuche*, Stuttgart, Theiss, Wissenschaftliche Buchgesellschaft, 2015.
10. G. Lidke, T. Terberger y D. Jantzen, «Das bronzezeitliche Schlachtfeld im Tollensetal - Krieg, Fehde oder Elitenkonflikt?», en *ibid*.
11. S. Schiffeis, *et al*., «Iron Age and Anglo-Saxon genomes from East England reveal British migration history», *Nat Commun*, 7 (2016), p. 10408.
12. R. Risch, *et al*., «Vorwort der Herausgeber», *2200 BC - Ein Klimasturz als Ursache für den Zerfall der Alten Welt?*, Landesamt für Denkmalpflege und Archäologie Sachsen-Anhalt, 2015.
13. H. Weiss, «Megadrought, collapse, and resilience in late 3rd millenium BC Mesopotamia», en *ibid*.

1. L. K. Little, *Plague and the end of antiquity. The pandemic of 541-750*, Cambridge, Cambridge University Press, 2007.
2. K. I. Bos, *et al*., «Eighteenth century *Yersinia pestis* genomes reveal the long-term persistence of an historical plague focus», *Elife*, 5 (2016), p. e12994.
3. K. I. Bos, *et al*., «Parallel detection of ancient pathogens via arraybased DNA capture», *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci*, 370 (1660) (2015), p. 20130375.
4. K. I. Bos, *et al*., «A draft genome of *Yersinia pestis* from victims of the Black Death», *Nature*, 478 (7370) (2011), pp. 506-510.
5. K. I. Bos, *et al*., «*Yersinia pestis*. New Evidence for an Old Infection», *PLoS One*, 7 (11) (2012), p. e49803.
6. A. du Toit, «Continued risk of Ebola virus outbreak», *Nat Rev Microbiol*, 16 (9) (2018), p. 521.
7. S. Rasmussen, *et al*., «Early divergent strains of *Yersinia pestis* in Eurasia 5,000 years ago», *Cell*, 163 (3) (2015), pp. 571-582.
8. M. Achtman, *et al*., «*Yersinia pestis*, the cause of plague, is a recently emerged clone of *Yersinia pseudotuberculosis*», *Proc Natl Acad Sci USA*, 96 (24) (1999), pp. 14043-14048.
9. N. Allocati, *et al*., «Bat-man disease transmission: zoonotic pathogens from wildlife reservoirs to human populations», *Cell Death Discov*, 2 (2016), p. 16048.
10. G. J. Armelagos y K. Barnes, «The evolution of human disease and the rise of allergy. Epidemiological transitions», *Medical Anthropology. Cross Cultural Studies in Health and Illness*, 18 (2) (1999).
11. J. G. Armelagos, A. H. Goodman y K. H. Jacobs, «The origins of agriculture. Population growth during a period of declining health», *Population and environment*, 13 (1991), pp. 9-22.
12. A. R. Omran, «The epidemiologic transition. A theory of the epidemiology of population change», *Milbank Mem Fund Q*, 49 (4) (1971), pp. 509-538.
13. K. L. Gage y M. Y. Kosoy, «Natural history of plague. Perspectives from more than a century of research», *Annu Rev Entomol*, 50 (2005), pp. 505-528.
14. O. J. Benedictow, *The Black Death, 1346-1355. The complete history*, Suffolk, Boydell & Brewer, 2004.
15. B. J. Hinnebusch, C. O. Jarrett y D. M. Bland, «"Fleaing" the Plague. Adaptations of *Yersinia pestis* to Its Insect Vector That Lead to Transmission», *Annu Rev Microbiol*, 71 (2017), pp. 215-232.

16. B. J. Hinnebusch y D. L. Erickson, «*Yersinia pestis* biofilm in the flea vector and its role in the transmission of plague», *Curr Top Microbiol Immunol*, 322 (2008), pp. 229-248.
17. I. Wiechmann y G. Grupe, «Detection of *Yersinia pestis* DNA in two early medieval skeletal finds from Aschheim (Upper Bavaria, 6th century A. D.)», *Am J Phys Anthropol*, 126 (1) (2005), pp. 48-55.
18. A. J. Vagene, *et al*., «*Salmonella enterica* genomes from victims of a major sixteenth-century epidemic in Mexico», *Nat Ecol Evol*, 2 (3) (2018), pp. 520-528.
19. A. Andrades Valtuena, *et al*., «The Stone Age Plague and Its Persistence in Eurasia», *Curr Biol*, 27 (23) (2017), pp. 3683-3691 e8.
20. N. Rascovan, *et al*., «Emergence and Spread of Basal Lineages of *Yersinia pestis* during the Neolithic Decline», *Cell* (2018).
21. R. Hymes, «Epilogue. A Hypothesis on the East Asian Beginnings of the *Yersinia pestis* Polytomy», *The Medieval Globe*, 1 (12) (2016).
22. A. Yersin, «Sur la peste bubonique (sérothérapie)», *Ann Inst Pasteur*, 11 (1897), pp. 81-93.
23. K. Bergdolt, *Über die Pest. Geschichte des Schwarzen Tods*, Múnich, C. H. Beck, 2006.
24. M. Keller, *et al*., «Ancient *Yersinia pestis* genomes from across Western Europe reveal early diversification during the First Pandemic (541750)», *bioRxiv*, 481226 (2018).
25. M. Wheelis, «Biological warfare at the 1346 siege of Caffa», *Emerg Infect Dis*, 8 (9) (2002), pp. 971-975.
26. K. Schulte-Van Pol, «D-Day 1347. Die Invasion des Schwarzen Todes», *Die Zeit* (1997).
27. U. Buntgen, *et al*., «Digitizing historical plague», *Clin Infect Dis*, 55 (11) (2012), pp. 1586-1588.
28. M. A. Spyrou, *et al*., «Historical *Y. pestis* Genomes Reveal the European Black Death as the Source of Ancient and Modern Plague Pandemics», *Cell Host Microbe*, 19 (6) (2016), pp. 874-881.
29. M. A. Spyrou, *et al*., «A phylogeography of the second plague pandemic revealed through the analysis of historical *Y. pestis* genomes», *bioRxiv*, 481242 (2018).

9. Nuevo mundo, nuevas epidemias

1. Organización Mundial de la Salud (OMS), *Wkly. Epidemiol. Rec*., 86 (389) (2011).
2. S. N. Brody, *The Disease of the Soul. Leprosy in Medieval Literature*, Ithaca (Nueva York), Cornell Press, 1974.

3. S. T. Cole, *et al*., «Massive gene decay in the leprosy bacillus», *Nature*, 409 (6823) (2001), pp. 1007-1011.
4. M. Daffé y J.-M. Reyrat (eds.), *The Mycobacterial Cell Envelope*, Washington DC, ASM Press, 2008.
5. Organización Mundial de la Salud (OMS), *Fact Sheet Leprosy*, 2015.
6. G. Robbins, *et al*., «Ancient skeletal evidence for leprosy in India (2000 B. C.)», *PLoS One*, 4 (5) (2009), p. e5669.
7. V. J. Schuenemann, *et al*., «Ancient genomes reveal a high diversity of *Mycobacterium leprae* in medieval Europe», *PLoS Pathog*, 14 (5) (2018), pp. e1006997.
8. V. J. Schuenemann, *et al*., «Genome-wide comparison of medieval and modern *Mycobacterium leprae*», *Science*, 341 (6142) (2013), pp. 179-183.
9. R. W. Truman, *et al*., «Probable zoonotic leprosy in the southern United States», *N Engl J Med*, 364 (17) (2011), pp. 1626-1633.
10. P. Singh, *et al*., «Insight into the evolution and origin of leprosy bacilli from the genome sequence of Mycobacterium lepromatosis», *Proc Natl Acad Sci USA*, 112 (14) (2015), pp. 4459-4464.
11. C. Avanzi, *et al*., «Red squirrels in the British Isles are infected with leprosy bacilli», *Science*, 354 (6313) (2016), pp. 744-747.
12. L. M. Irgens, «The discovery of the leprosy bacillus», *Tidsskr Nor Laegeforen*, 122 (7) (2002), pp. 708-709.
13. A. Cao, *et al*., «Thalassaemia types and their incidence in Sardinia», *J Med Genet*, 15 (6) (1978), pp. 443-447.
14. S. Wambua, *et al*., «The effect of alpha+-thalassaemia on the incidence of malaria and other diseases in children living on the coast of Kenya», *PLoS Med*, 3 (5) (2006), p. e158.
15. L. Luzzatto, «Sickle cell anaemia and malaria», *Mediterr J Hematol Infect Dis*, 4 (1) (2012), pp. e2012065.
16. S. J. O'brien y J. P. Moore, «The effect of genetic variation in chemokines and their receptors on HIV transmission and progression to Aids», *Immunol Rev*, 177 (2000), pp. 99-111.
17. T. Wirth, *et al*., «Origin, spread and demography of the *Mycobacterium tuberculosis* complex», *PLoS Pathog*, 4 (9) (2008), p. e1000160.
18. Organización Mundial de la Salud (OMS), *Tuberculosis* (TB), 2018.
19. R. Brosch, *et al*., «A new evolutionary scenario for the *Mycobacterium tuberculosis* complex», *Proc Natl Acad Sci USA*, 99 (6) (2002), pp. 3684-3689.
20. L. Comas, *et al*., «Out-of-Africa migration and Neolithic coexpansion of *Mycobacterium tuberculosis* with modern humans», *Nat Genet*, 45 (10) (2013), pp. 1176-1182.

21. K. I. Bos, *et al*., «Pre-Columbian mycobacterial genomes reveal seals as a source of New World human tuberculosis», *Nature*, 514 (7523) (2014), pp. 494-497.
22. A. J. Vagene, *et al*., «*Salmonella enterica* genomes from victims of a major sixteenth-century epidemic in Mexico», *Nat Ecol Evol*, 2 (3) (2018), pp. 520-528.
23. H. E. Dobyns, «Disease transfer at contact», *Annu. Rev. Anthropol*, 22 (1993), pp. 273-291.
24. D. Farhi y N. Dupin, «Origins of syphilis and management in the immunocompetent patient. Facts and controversies», *Clin Dermatol*, 28 (5) 2010, pp. 533-538.
25. A. W. Crosby, *The Columbian exchange. Biological and cultural consequences of 1492*, Nueva York, Praeger, 2003.
26. J. G. Diamond, «Germs and Steel», en *Guns, Germs and Steel*, Nueva York, W. W. Norton, 1997, p. 210.
27. R. Winau, «Seuchen und Plagen. Seit Armors Köcher vergiftete Pfeile führt», *Fundiert*, 1 (2002).
28. V. J. Schuenemann, *et al*., «Historic *Treponema pallidum* genomes from Colonial Mexico retrieved from archaeological remains», *PLoS Negl Trop Dis*, 12 (6) (2018), p. e0006447.
29. S. Knauf, *et al*., «Nonhuman primates across sub-Saharan Africa are infected with the yaws bacterium *Treponema pallidum* subsp. pertenue», *Emerg Microbes Infect*, 7 (1) (2018), p. 157.
30. J. K. Taubenberger y D. M. Morens, «1918 Influenza. The mother of all pandemics», *Emerg Infect Dis*, 12 (1) (2006), pp. 15-22.
31. S. M. Gygli, *et al*., «Antimicrobial resistance in *Mycobacterium tuberculosis*. Mechanistic and evolutionary perspectives», *FEMS Microbiol Rev*, 41 (3) (2017), pp. 354-373.
32. A. Findlater e I. I. Bogoch, «Human Mobility and the Global Spread of Infectious Diseases. A Focus on Air Travel», *Trends Parasitol*, 34 (9) (2018), pp. 772-783.

CONCLUSIÓN. EL FINAL DEL O TODO BLANCO O TODO NEGRO

1. A. Findlater e I. I. Bogoch, «Human Mobility and the Global Spread of Infectious Diseases. A Focus on Air Travel», *Trends Parasitol*, 34 (9) (2018), pp. 772-783.
2. F. Klein, «Gustaf Kossinna. 1858-1931», en *Encyclopedia of Archaeology. The Great Archaeologists*, T. Murray (ed.), Santa Bárbara (California), ABC-CLIO, pp. 233-246, 1999.

3. G. Kossinna, *Die Herkunft der Germanen. Zur Methode der Siedlungsarchäologie*, Kabitzsch, Wurzburgo, 1911.
4. H. Grünert, *Gustaf Kossinna. Ein Wegbereiter der nationalsozialistischen Ideologie*, *in Prähistorie und Nationalsozialismus. Die mittel- und osteuropäische Ur- und Frühgeschichtsforschung in den Jahren 1933-1945*, A. Leube (ed.), Heidelberg, Synchron Wissenschaftsverlag der Autoren, 2002.
5. H. J. Eggers, *Einführung in die Vorgeschichte*, Múnich, Piper, 1959.
6. M. K. H. Eggert, *Archäologie. Grundzüge einer historischen Kulturwissenschaft*, Tubinga, A. Francke, 2006.
7. M. Schulz, «Neolithic Immigration. How Middle Eastern Milk Drinkers Conquered Europe», *Spiegel Online* (2010).
8. A. R. Martin, *et al*., «An Unexpectedly Complex Architecture for Skin Pigmentation in Africans», *Cell*, 171 (6) (2017), pp. 1340-1353 e14.
9. M. Jinek, *et al*., «A programmable dual-RNA-guided DNA endonuclease in adaptive bacterial immunity», *Science*, 337 (6096) (2012), pp. 816-821.
10. N. Wade, «Researchers Say Intelligence and Diseases May Be Linked in Ashkenazic Genes», *The New York Times* (2005).
11. A. Gauland, «Warum muss es Populismus sein?» ,*Frankfurter Allgemeine Zeitung*, 6 de octubre de 2018.
12. H. Rosling, *Factfulness. Wie wir lernen, die Welt so zu sehen, wie sie wirklich ist*, Berlín, Ullstein, 2018.
13. H. Arendt, *Elemente und Ursprünge totaler Herrschaft. Antisemitismus. Imperialismus. Totale Herrschaft*, Múnich, Piper, 1955. [Hay trad. cast.: *Los orígenes del totalitarismo*, Madrid, Alianza, 2006, trad. de Guillermo Solana.]
14. A. Seibel, *et al*., «Mögen Sie keine Türken, Herr Sarrazin?», *Welt am Sonntag*, 29 de agosto de 2010.
15. «The elementary DNA of Dr Watson», *The Sunday Times*, 14 de octubre de 2007.

Agradecimientos

Johannes Krause agradece a Wolfgang Haak, Alexander Herbig, Henrike Heyne, Svante Pääbo, Kay Prüfer, Stephan Schiffels y Philipp Stockhammer la lectura crítica de capítulos individuales. Un agradecimiento especial de ambos autores va dirigido a Harald Meller, que representó para nosotros una gran fuente de inspiración y de apoyo con su tesoro de conocimientos y con sus relatos sobre la prehistoria y la protohistoria de Europa.

Los conocimientos expuestos en este libro sobre la evolución del ser humano y sobre la historia genética de Europa no habrían sido posibles sin la labor científica de innumerables colegas. Un agradecimiento especial es para Adrian Briggs, Hernan Burbano, Anatoli Derevjanko, Qiaomei Fu, Richard Edward Green, Janet Kelso, Martin Kircher, Anna-Sapfo Malaspinas, Tomislav Maricic, Matthias Meyer, Svante Pääbo, Nick Patterson, Kay Prüfer, Udo Stenzel, David Reich, Montgomery Slatkin y para todos los demás miembros del Consorcio del Genoma del Neandertal.

Un agradecimiento cordial para Mark Achtmann, Kurt Alt, Natasha Arora, Hervé Bocherens, Jane Buikstra, Alexandra Buzhilova, David Caramelli, Stewart Cole, Nicholas Conard, Isabelle Crevecœur, Dominique Delsate, Dorothée Drucker, Mateja Hajdinjak, Fredrik Halgren, Svend Hansen, Katerina Harvati, Michaela Harbeck, Jean-Jacques Hublin, Daniel Huson, Kristian Kristiansen, Corina Knipper, Carles Lalueza Fox, Iósif Lazaridis, Mark Lipson, Sandra Lösch, Frank Maixner, Iain Mathieson, Michael McCormick, Kay Nieselt, Íñigo Olalde, Ludovic Orlando, Ernst Pernicka, Sabine Reinhold, Roberto Risch, Hélène Rougier, Patrick Semal, Pontus Skoglund, Viviane Sion, Anne Stone, Jiri Svoboda, Frédérique Valentin, Joachim Wahl, Albert Zink y para muchos otros colegas de la arqueología, antropología, bioinformática, genética y medicina. Sin ellos no habríamos podido reconstruir nunca las numerosas historias del pasado europeo.

Johannes Krause da las gracias, además, a los colaboradores y colegas de la Universidad de Tubinga y del Instituto Max Planck para la Ciencia de la Historia de la Humanidad de Jena. Su agradecimiento va dirigido en concreto

a Aida Andrades, Kirsten Bos, Guido Brandt, Anja Furtwängler, Michal Feldman, Wolfgang Haak, Alexander Herbig, Choongwon Jeong, Marcel Keller, Ben Krause-Kyora, Aditya Lankapalli, Angela Mötsch, Alissa Mittnik, Alexander Peltzer, Cosimo Posth, Verena Schünemann, Maria Spyrou, Ashild Vågene, Marieke van der Loosdrecht, Chuanchao Wang, Christina Warinner y a todos aquellos que han colaborado decisivamente en los proyectos descritos en este libro.

De la editorial Ullstein nos han apoyado Kristin Rotter, en concreto en la concepción del libro, y Jan Martin Ogiermann, en el trabajo detallista posterior. Agradecemos a Peter Palm sus mapas muy claros y abarcables con la vista. Damos las gracias a Ralf Schmitz, Frank Vinken y Bence Viola por facilitarnos las imágenes y a Johannes Künzel por su ayuda en las imágenes de los autores.

Johannes Krause da las gracias a su esposa Henrike por los numerosos debates en torno al libro y, en concreto, sobre el futuro de la genética médica. Además, agradece a sus padres, Maria y Dieter, y a su hermana Kristin por la lectura y los comentarios constructivos sobre todo el manuscrito. El coautor, Thomas Trappe, da las gracias a Claudia, Clara y Leo. Por todo.

Notas

[1] En la reacción en cadena de la polimerasa se imita un proceso que tiene lugar en el cuerpo varios millones de veces al día: la duplicación del genoma en la nueva formación de células corporales. En el tubo de ensayo se emplean enzimas similares a las del cuerpo. Al cabo de unas pocas horas, mediante una duplicación constante a partir de una única molécula de ADN pueden generarse mil millones de moléculas. <<

[2] El ser humano hereda esta información genética en los veintitrés cromosomas respectivos de la madre y del padre. El hecho de que del padre herede adicionalmente un cromosoma Y o X decide si el bebé será niño o niña. <<

[3] El desciframiento del genoma humano, igual que si se tratara de un pastel demasiado grande, se repartió en aquel entonces entre más de mil laboratorios. Todos ellos eran verdaderas fábricas con decenas de máquinas secuenciadoras que costaban millones de dólares. Cada laboratorio por separado secuenciaba millones de pares de bases a lo largo de los años en un maratón ininterrumpido de cálculos. Al final se juntaron los resultados de todos los laboratorios para formar un gran conjunto. <<

[4] Paradójicamente, este conocimiento nuevo puede seguir reforzando, sin embargo, la antigua incertidumbre. Poco después del parto, a los padres se les comunicaría por escrito qué riesgos acompañarán a su bebé a lo largo de su vida. A algunas personas podría agobiarles saber eso ya solo por el hecho de que los datos extraídos de la máquina secuenciadora hay que relacionarlos con una probabilidad estadística. <<

[5] Los arqueólogos investigan huesos y artefactos (vajillas, armas, joyas) desde el siglo XIX y a partir de ellos tratan de deducir cómo vivían sus antepasados y cuándo se expandieron por el mundo. Durante mucho tiempo, la arqueología funcionó como un sudoku: a partir de la combinación de varios hallazgos y mediante la interacción con otros indicios se construía lentamente una imagen de conjunto. Si, por ejemplo, se encontraba un cuenco de cerámica de un determinado tipo de fabricación junto a un esqueleto y un cuenco del mismo tipo junto a otro, se deducía de ese hecho que se trataba de personas pertenecientes a la misma cultura y época. A partir de otros hallazgos cercanos, por ejemplo inscripciones o herramientas, se intentaba establecer una sucesión temporal de diferentes épocas.

Hasta bien entrado el siglo XX, las dataciones se basaban casi siempre en estimaciones aproximadas; ahora bien, en los esqueletos sin ningún tipo de ajuar funerario, estas estimaciones no eran ni siquiera posibles. Esta situación no cambió hasta la aplicación del método del radiocarbono; sin él sería impensable una arqueología moderna. El método C14 desarrollado en el año 1946 emplea una constante física como medida: la descomposición del carbono radiactivo, es decir, de una sustancia que se encuentra en artefactos arqueológicos de material orgánico y que representa algo así como un reloj incorporado. Este procedimiento se basa en procesos de descomposición del carbono, un componente básico de la vida. Gracias a la fotosíntesis encuentra su vía en las plantas; a través de la cadena alimentaria va a parar a seres humanos y animales, y en parte se emite de nuevo a la atmósfera. En ella, debido a la radiación solar, se transforma en isótopos radiactivos, los denominados C13 y C14. Sin embargo, además de estos isótopos inestables, las plantas incorporan principalmente C12 durante su crecimiento, es decir, la variante original de carbono estable que no ha sido alterada por la radiación solar. En el transcurso de los milenios sucede algo con los isótopos inestables C13 y C14: se esfuerzan por recuperar la forma estable C12. Se trata de una constante física, esto es, tiene lugar a una velocidad siempre igual, en todos los tiempos e independientemente de influencias externas. El método del radiocarbono se aprovecha de esta constancia. Y es que en muchos lugares arqueológicos se encuentran presentes objetos que contienen carbono, con mucha frecuencia huesos o también madera quemada. A partir de la relación de los isótopos estables con los inestables puede calcularse

hasta cuándo la madera o los huesos incorporaron isótopos inestables, es decir, cuándo vivieron los organismos respectivos. Desde los años sesenta, el método del C14 ha sido un procedimiento estándar en la arqueología. En la actualidad hay millones de objetos arqueológicos datados sobre esa base. Estos datos son también indispensables para la arqueogenética. Ciertamente, el ADN de los huesos abre una ventana al pasado del hueso, pero sin saber cuándo se abrió esa ventana, esos conocimientos solo valen la mitad. <<

[6] Todo ser humano hereda de sus padres entre treinta y sesenta de estas mutaciones, la mayoría de ellas del padre debido a que la continua producción de esperma provoca también la aparición de más mutaciones; esto es diferente en el caso de los óvulos, con los que las niñas nacen ya y que no se renuevan. <<

[7] El ADN como plano de construcción de los seres vivos se basa en el principio de la traslación y de la transcripción. El ADN, como soporte de datos, es leído en el núcleo de la célula y transcrito en el denominado ARN. Este ARN transporta las informaciones del ADN fuera del núcleo de la célula. Los ribosomas, algo así como pequeñas fábricas de proteínas en el interior de las células, leen por completo estas informaciones y producen proteínas sobre ese fundamento. Lo decisivo para la producción de proteínas es el orden de los pares de bases leídas por el ARN a partir del ADN en el núcleo de la célula. <<

[8] Con sus tres mil trescientos millones de pares de bases, el ADN nuclear posee en efecto una densidad de información considerablemente mayor que el ADN mitocondrial y sus escasas dieciséis mil quinientas posiciones. Sin embargo, el ADN nuclear solo se halla dos veces en cada célula, y es heredado, respectivamente, por la madre y por el padre. En cambio, el ADN mitocondrial existe entre quinientas y mil veces, y siempre en una forma idéntica. <<

[9] Una mujer que ha dado a luz a una hija y a un hijo, transmite su ADN mitocondrial a ambas criaturas. Ahora bien, los nietos y nietas solo heredan el ADN mt de la hija, de los cuales, a su vez, solo las nietas lo transmitirán a sus hijos e hijas. Si esta serie prosiguiera en teoría durante mil años, y cada hija diera a luz a una hija y a un hijo, entonces en una división generacional de treinta años, al cabo de mil años habría treinta y tres mujeres con el mismo ADN mt, y también treinta y dos hombres que no transmitirían su ADN mt a sus hijos e hijas. En cambio, si una hija da a luz a dos hijas, serán en ese mismo periodo de tiempo nada menos que ocho mil millones de mujeres con ese ADN mt, a los que hay que añadir los hijos varones de estas mujeres. Si seguimos nuestros respectivos árboles genealógicos por el ADN mt, cada uno de nosotros encontrará en un punto determinado a un antepasado común en cualquier otra persona. El ADN mt original de la Eva primigenia, a pesar de que todos descendemos de ella, no lo posee ya nadie. En los últimos ciento sesenta mil años se ha acumulado una gran cantidad de mutaciones que han conducido a una escisión inabarcable en diferentes líneas de ADN mt. <<

[10] Cuantas más diferencias existan entre dos seres humanos modernos en su ADN mt, tanto más atrás en el tiempo habrá sucedido su escisión. Dado que en el ADN mt se manifiesta una mutación con una regularidad fiable cada tres mil años, un ser humano que viva en la actualidad, tendrá treinta y tres mutaciones en el ADN mt que sus antepasados no tenían todavía hace cien mil años. Este efecto se duplica en la escisión de dos formas humanas, como, por ejemplo, entre el neandertal y el ser humano moderno. Una de las dos formas desarrolla en cien mil años, aproximadamente, treinta y tres mutaciones; la otra forma, la misma cantidad, lo cual da como resultado una diferencia de sesenta y seis mutaciones. Si, por ejemplo, observamos el ADN mt de tres formas humanas —en concreto, el humano de Denisova, el neandertal y el ser humano moderno—, puede determinarse con ayuda del reloj genético cuándo debió de escindirse una de otra. De igual manera funciona también el cálculo de la escisión entre el chimpancé y el ser humano. A partir de las diferencias en el ADN mt de los miembros actuales de ambas especies antropomorfas, puede calcularse que se escindieron, aproximadamente, hace siete millones de años. (No obstante, el reloj genético será algo menos fiable para semejantes intervalos de tiempo que en las escisiones mucho más recientes entre los seres humanos modernos). En el ADN nuclear hay muchísimas más mutaciones heredadas, no una cada tres mil años, como ocurre en el ADN mitocondrial, sino tres por año. El reloj genético funciona exactamente de la misma manera, solo que aquí hay muchas más mutaciones medibles. <<

[11] La escisión tuvo lugar en África; la expansión hasta la península Ibérica requirió algún tiempo. <<

[12] Cada ser humano tiene dos padres, cuatro abuelos, ocho bisabuelos y dieciséis tatarabuelos. Así quedan abarcadas cuatro generaciones, es decir, aproximadamente, entre ochenta y cien años. Si retrocedemos veinte generaciones en la genealogía, es decir, entre unos cuatrocientos y quinientos años atrás, llegamos a una cifra superior al millón de «padres primigenios». Al cabo de treinta generaciones son más de mil millones, son muchas más personas que las que vivían en la Tierra hace seiscientos cincuenta años. Y en las —como mínimo— cuarenta generaciones que se han sucedido desde Carlomagno, se llega por puro cálculo a más de un billón de antepasados. Se trata de una magnitud, sin duda, puramente teórica: por aquel entonces no todas las personas tenían hijos e hijas, y otros tenían más. Muchas de las líneas de un árbol genealógico que perseguimos en el tiempo se cruzan y se concentran en aquellos antepasados que tuvieron descendencia por encima de la media. De esto se puede deducir que todas las personas que tuvieron hijos e hijas hace entre seiscientos y setecientos años, y cuyos descendientes continuaron engendrando ininterrumpidamente otros descendientes, están representadas con una probabilidad muy elevada en los árboles genealógicos de todos los europeos que viven en la actualidad. <<

[13] Este intervalo de tiempo se obtuvo a partir del análisis del ADN de otro neandertal que vivió hace unos ciento veinte mil años cerca de la localidad de Ulm. Su ADN mitocondrial difería del de los neandertales conocidos hasta entonces que vivieron posteriormente y que llevaban un ADN mt de tempranos humanos modernos. Con ayuda del reloj genético pudimos calcular que ambas poblaciones de neandertales debieron de escindirse como muy tarde hace doscientos veinte mil años. Así pues, en algún momento entre el neandertal español y esa escisión debieron de llegar a Europa primitivos seres humanos modernos y haber dado su ADN mt a los neandertales. No obstante, no puede decirse con precisión dónde sucedió esto; también pudo haber ocurrido en Oriente Próximo. <<

[14] En toda Europa y Asia conocemos los huesos de un máximo de trescientos cincuenta neandertales. Hasta la fecha, en Alemania han sido hallados media docena de individuos, y el propio valle de Neander es uno de los lugares más septentrionales de los hallazgos. <<

[15] Ciertamente había también barreras naturales en el continente africano, pero ni de lejos tantas ni tan implacables. Así, por ejemplo, el Sahara era mucho más pequeño que hoy y durante épocas estuvo completamente verde incluso. Entre los primeros seres humanos modernos en África debieron de existir menos barreras y, por consiguiente, se produjo un mayor intercambio genético. <<

[16] Entra en el terreno especulativo si este aislamiento protegió a los neandertales también de amenazas (de otros humanos, por ejemplo). En cualquier caso, su evolución no obtuvo provecho de ese acervo genético. Debido a la limitada elección de pareja se supone que los genes desfavorables tenían más oportunidades de ser heredados. A causa de su parentesco próximo, en muchos casos los padres portaban en sí la misma mutación perjudicial. A los denisovanos les fue aún peor que a los neandertales. Su ADN revela un elevado grado de consanguinidad. De este modo, los antepasados de la niña de Denisova estaban muy estrechamente emparentados, pues también grandes extensiones de Asia estaban aisladas debido a la Edad de Hielo. Se supone que las zonas de asentamiento de los denisovanos se extendían hasta alcanzar el tamaño aproximado de un estado federado alemán medio en la actualidad, pero solo estaban habitadas por unos pocos cientos de individuos. Así pues, estos humanos primitivos no disponían de muchas opciones para la elección de pareja, por lo cual las similitudes genéticas resultaban aún más perjudiciales. <<

[17] De no haber sido así, los lenguajes de los seres humanos emigrados no se habrían desarrollado hasta después de su partida de África, lo cual habría tenido que conducir por fuerza a diferentes niveles lingüísticos de las poblaciones actuales, por ejemplo, entre pueblos aislados durante mucho tiempo y aquellos que mantenían un intercambio permanente. Sin embargo, dado que todos los seres humanos actuales hablan unos lenguajes al mismo nivel, puede excluirse ese escenario. <<

[18] El gen *FOXP*$_2$ es un factor de transcripción, llamado así porque puede activar y desactivar cientos de otros genes del genoma. Todavía no se ha aclarado en detalle por qué esta función repercute en la capacidad lingüística. El caso de la «familia KE», que vive en Inglaterra, alcanzó una popularidad especial en el mundo científico: la mitad de los miembros de la familia tiene grandes problemas para articular o para entender el lenguaje. Han heredado el gen *FOXP*$_2$ mutado de uno de sus padres. En mi tesis doctoral, en la cual investigué los genes del ADN nuclear del neandertal —algunos años antes del desciframiento de su genoma completo—, averigüé que los genes *FOXP*$_2$ de los chimpancés y de los seres humanos modernos se diferencian en dos bloques de construcción; en cambio, no es así en los de los neandertales y los seres humanos modernos. Así pues, el *FOXP*$_2$ se modificó antes de que los seres humanos modernos se escindieran de los neandertales. Dado que al parecer este gen solo posibilita el lenguaje de una manera indirecta, he adoptado desde entonces una formulación algo más prudente: la comparación del gen *FOXP*$_2$ de neandertal y ser humano, como mínimo, no permite deducir que el neandertal no supiera hablar. <<

[19] Así, por ejemplo, poco antes de la Segunda Guerra Mundial, en la cueva de Skhul, situada en el territorio actual de Israel, se hallaron los huesos de un ser humano que murió allí hace cien mil años y cuyos antepasados vivieron al sur del Sahara. Desde entonces no hay año que pase sin tener algún hallazgo de seres humanos modernos fuera de África. Lo que tienen en común todos ellos es que sus genes ya no existen en el ser humano actual. <<

[20] Dado que sabemos que el ser humano que vivió hace cuarenta y dos mil años en la cueva de Pestera cu Oase no dejó ningún gen en los europeos actuales, pero sí el Hombre de Kostenki (Markina Gora), que vivió después de la erupción volcánica, el siguiente escenario propuesto parece muy realista: la erupción volcánica podría haber diezmado fuertemente o tal vez incluso aniquilado por completo a aquellos seres humanos modernos que llegaron a Europa antes de la catástrofe, con lo cual nuestros ancestros directos, los humanos de la cultura auriñaciense, se expandieron en una nueva oleada migratoria a través del corredor del Danubio. Sin embargo, esto no es del todo seguro porque no puede reconstruirse con suficiente precisión la secuencia cronológica de los acontecimientos ocurridos hace cuarenta mil años. Al mismo tiempo, no existen hasta el momento más que dos pruebas genéticas de la época de la cultura auriñaciense. El segundo ser humano secuenciado de entonces vivió hace, aproximadamente, treinta y ocho mil años en la cueva belga de Goyet y portaba asimismo genes de europeos actuales. <<

[21] Presumiblemente, los seres humanos gravetienses seguían al mamut asiático que por aquel tiempo se estaba expandiendo hacia Europa. Es tan solo una teoría que la caza mayor no sobreviviera en el continente a la erupción volcánica y que su lugar fuera ocupado por las especies asiáticas. Del mismo modo puede pensarse también que ya había sido exterminada con anterioridad por los seres humanos de la cultura auriñaciense, o también que los recién llegados siguieran a «su» caza y que posteriormente aniquilaran a las especies locales. <<

[22] El aislamiento con respecto al sur puede probarse por medio de los genes: en el año 2018 desciframos los primeros genomas de la Edad de Hielo en el norte de África. Los huesos procedían de las cuevas de Taforalt, en Marruecos. Las secuenciaciones demostraron que los seres humanos que vivían allí hace, aproximadamente, quince mil años no tuvieron intercambio genético con sus vecinos europeos. <<

[23] Aquí utilizamos el término «micénico» para simplificar, a pesar de que este procede del siglo XIX y con toda seguridad ellos se llamaban de una manera muy distinta. <<

[24] CRISPR significa en inglés: Clustered Regularly Interspaced Short Palindromic Repeats; y en español: repeticiones palindrómicas cortas agrupadas y regularmente interespaciadas. Cas significa «asociado a CRISPR». <<